

**PENGARUH RASIO KOMPRESI TERHADAP KINERJA
MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL
*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM***

**SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Andi Ikramullah Mattonrokang
NIM. 145060201111077**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayahnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Pengaruh Rasio Kompresi Terhadap Kinerja Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel *Calophyllum Inophyllum*”, yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini, Penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D, selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST M. Eng. Ph.D., selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. Selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST.,MT. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan tantangan, bimbingan, nasihat, dan motivasi bagi penulis.
5. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi ST.,MT. Selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan dan saran yang sangat membantu dalam penulisan dan pengerjaan skripsi ini..
6. Mas Eko Slamet Mujiyanto selaku laboran motor bakar yang telah membantu dalam peneitian ini.
7. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Ayah, Ibu dan seluruh anggota keluarga yang senantiasa memberi nasihat, dukungan, doa, semangat dan segalanya yang terbaik bagi penulis.
9. Seluruh anggota Tim Mobil Hemat Energi Apatte 62 Universitas Brawijawa yang telah memberikan motivasi serta dukungan penuh dalam penelitian ini.
10. Seluruh teman Himpunan Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya periode 2016-2017 yang selalu bersedia menjadi tempat keluh kesah saya selama penelitian ini.

11. Seluruh teman mesin angkatan 2014 selaku penghuni Himpunan Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya yang selalu menghibur saya dalam keadaan susah dan memberikan motivasi yang sangat berguna selama pengerjaan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna baik dari isi maupun format penulisan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar kedepannya menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, memunculkan ide baru dan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Juni 2018

Penulis



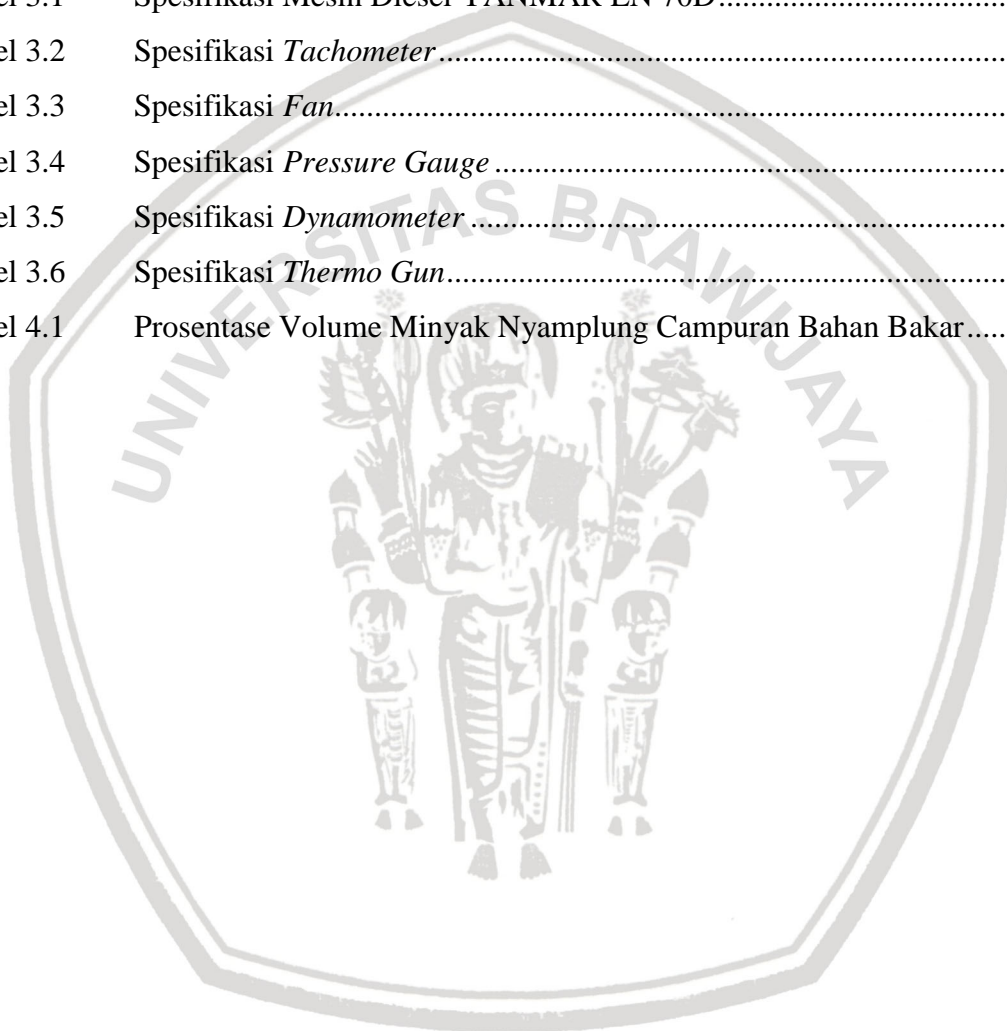
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Pengertian Motor Diesel	6
2.3 Biodiesel	6
2.4 Biodiesel Minyak Biji Nyamplung (<i>Calophyllum Inophyllum</i>)	6
2.5 Karakteristik Minyak Nyamplung	7
2.6 Bahan Bakar Solar	8
2.7 Prinsip Kerja Motor Diesel 4 Langkah	9
2.8 Siklus Termodinamika Motor Diesel	10
2.9 Rasio Kompresi	11
2.9.1 Hubungan Rasio Kompresi terhadap Kinerja Mesin Diesel	11
2.9.2 Contoh Perhitungan Rasio Kompresi dengan Menggunakan Gasket	12
2.10 Air Fuel Ratio (AFR)	13
2.11 Karakteristik Bahan Bakar	14
2.11.1 Nilai Kalor (<i>Heating Value</i>)	14
2.11.2 Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)	14
2.11.3 Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	14
2.11.4 Kekentalan (<i>Viscosity</i>)	14
2.11.5 Titik Uap (<i>Volatility</i>)	15

2.11.6	Kualitas Penyalaan (<i>Cetane Number</i>)	15
2.11.7	Oksidasi dan Air	15
2.12	Karakteristik Kinerja Motor Bakar	15
2.12.1	Torsi	15
2.12.2	Daya Efektif	16
2.12.3	<i>Specific Fuel consumption</i> (SFCe).....	16
2.12.4	Efisiensi Termal Efektif	17
2.13	Hipotesis	17
BAB III METODE PENELITIAN		19
3.1	Metode Penelitian	19
3.2	Variabel Penelitian.....	19
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.4	Peralatan dan Alat Ukur yang digunakan	21
3.5	Prosedur Pengambilan Data.....	30
3.7	Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Analisa Data	35
4.1.1	Data Hasil Pengujian.....	35
4.1.2	Pengolahan Data	36
4.2	Pembahasan.....	37
4.2.1	Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi	37
4.2.2	Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya	40
4.2.3	Hubungan Putaran terhadap <i>Specific Fuel Consumption Effective</i>	42
4.2.4	Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Thermal Efektif	45
BAB V PENUTUP		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

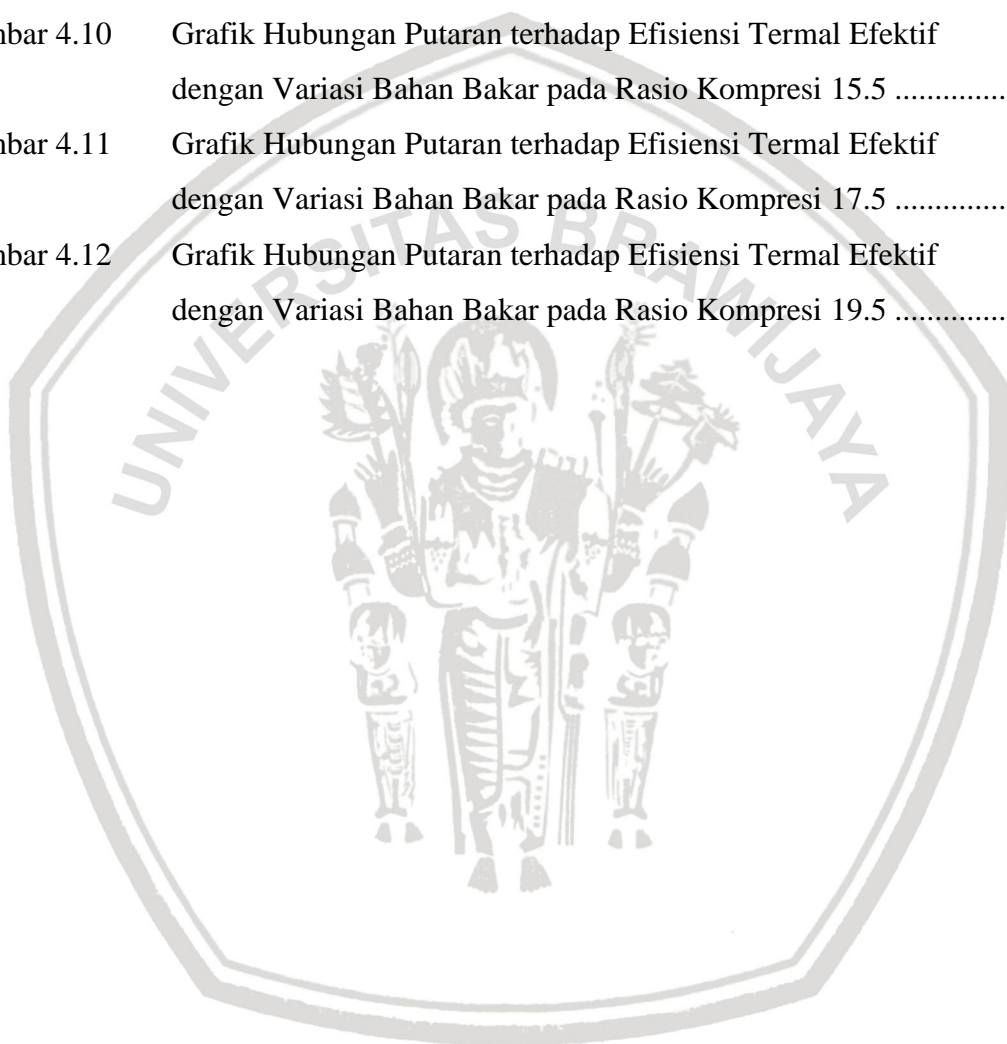
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kandungan Minyak Nyamplung.....	7
Tabel 2.2	Komposisi Asam Lemak Minyak Nyamplung dibandingkan Minyak Nabati Lainnya.....	7
Tabel 2.3	Karakteristik Biodiesel Nyamplung dibandingkan Standar ASTM D 6751-3.....	8
Tabel 2.4	Spesifikasi Mesin Yanmar LN 70.....	12
Tabel 2.5	Ketebalan Gasket Masing-Masing Gasket.....	13
Tabel 3.1	Spesifikasi Mesin Diesel YANMAR LN 70D.....	22
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Tachometer</i>	24
Tabel 3.3	Spesifikasi <i>Fan</i>	25
Tabel 3.4	Spesifikasi <i>Pressure Gauge</i>	26
Tabel 3.5	Spesifikasi <i>Dynamometer</i>	26
Tabel 3.6	Spesifikasi <i>Thermo Gun</i>	27
Tabel 4.1	Prosentase Volume Minyak Nyamplung Campuran Bahan Bakar.....	35



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hasil Ekstrak Minyak Biji Nyamplung	7
Gambar 2.2	Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah	9
Gambar 2.3	Siklus Mesin Diesel 4 Langkah	10
Gambar 2.4	(a) P-V Diagram Siklus Diesel; (b) T-S Diagram Siklus Diesel.....	11
Gambar 2.5	Rasio Kompresi	11
Gambar 3.1	Bentuk Geometri Gasket	20
Gambar 3.2	Mesin Diesel YANMAR LN 70	21
Gambar 3.3	Skema Instalasi Motor Diesel.....	23
Gambar 3.4	<i>Tachometer</i>	25
Gambar 3.5	<i>Fan</i>	25
Gambar 3.6	<i>Preassure Gauge</i>	26
Gambar 3.7	<i>Burrete</i>	26
Gambar 3.8	<i>Dynamometer (Prony Disk Brake)</i>	26
Gambar 3.9	<i>Aerometer</i>	27
Gambar 3.10	<i>Thermo Gun</i>	27
Gambar 3.11	<i>Bomb Calorimeter</i>	28
Gambar 3.12	<i>Viscometer</i>	28
Gambar 3.13	<i>Flash Point</i>	29
Gambar 3.14	<i>Fuller gauge</i>	39
Gambar 3.15	Gasket Kompresi	30
Gambar 3.16	<i>Flowchart</i> Penelitian	32
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 15.5.....	37
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 17.5.....	37
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 19.5.....	38
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 15.5.....	40
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 17.5.....	40

Gambar 4.6	Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 19.5.....	41
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Putaran terhadap <i>Specific Fuel Consumption Effective</i> dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 15.5.....	42
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Putaran terhadap <i>Specific Fuel Consumption Effective</i> dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 17.5.....	43
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Putaran terhadap <i>Specific Fuel Consumption Effective</i> dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 19.5.....	43
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 15.5	45
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 17.5	45
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 19.5	46



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data BPS Laju Penduduk Setiap Tahun Pada Beberapa Negara
Lampiran 2	Tabel Data Hasil Pengujian
Lampiran 3	Tabel Data Hasil Pengolahan Data



RINGKASAN

Andi Ikramullah Mattonrokang, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, Pengaruh Rasio Kompresi Terhadap Kinerja Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel *Calophyllum Inophyllum*, Dosen Pembimbing : Mega Nur Sasongko dan Francisca Gayuh Utami Dewi.

Masyarakat sering menganggap bahwa biji nyamplung tidak berguna, akan tetapi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar yaitu biodiesel. Tanaman nyamplung (*calophyllum inophyllum*) merupakan salah satu tanaman yang berpotensi sebagai sumber bahan bakar terbarukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja mesin diesel ketika menggunakan bahan bakar biodiesel nyamplung yang dicampur dengan solar murni dengan variasi rasio kompresi.

Penelitian ini menggunakan bahan bakar campuran biodiesel nyamplung dengan solar murni dengan prosentase 10%, 20%, dan 30% dan menggunakan variasi rasio kompresi 15,5:1; 17,5:1; 19,5:1. Pengujian menggunakan mesin diesel empat langkah yang bermerk yanmar 70N. Penelitian diawali dengan pembuatan biodiesel nyamplung dari minyak nyamplung mentah dan pengujian karakteristik biodiesel nyamplung sebelum dilakukan pengujian pada mesin diesel. Kemudian dilakukan pengujian kinerja pada putaran 1600 rpm sampai 2400 rpm dengan interval 200 rpm dan pembebanan sebesar 1 kg/cm².

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai torsi, daya, dan efisiensi termal untuk B10, B20, B30 mengalami kenaikan seiring penambahan rasio kompresi, sedangkan nilai SFCe mengalami penurunan seiring bertambahnya rasio kompresi pada mesin diesel dikarenakan pada rasio kompresi yang tinggi pembakaran yang terjadi semakin sempurna.

Kata Kunci: Biodiesel Nyamplung, *Calophyllum Inophyllum*, Kinerja Mesin Diesel, Mesin Diesel, Rasio Kompresi

SUMMARY

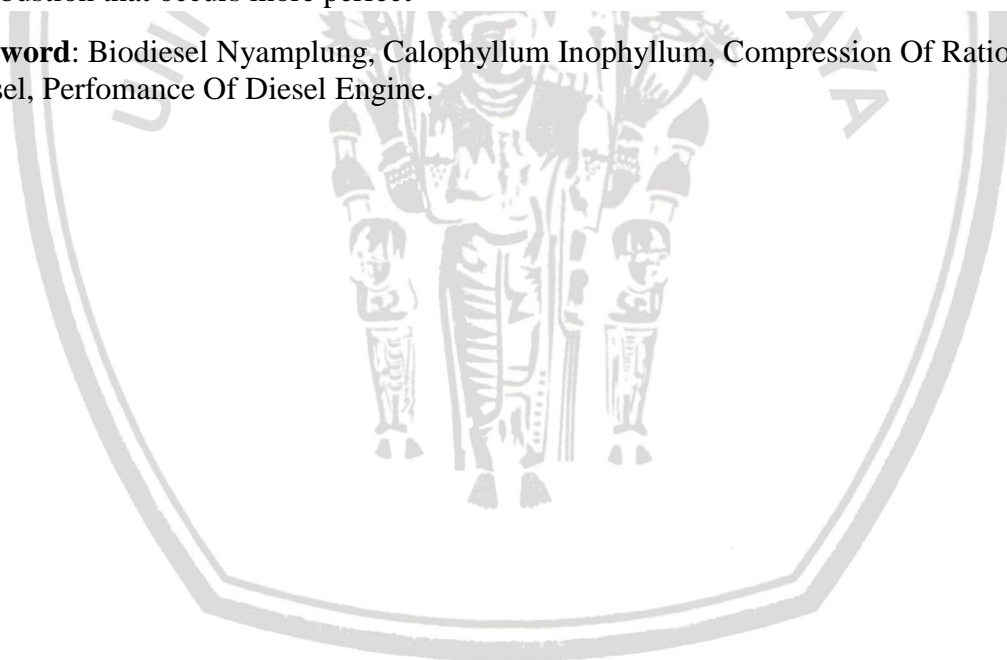
Andi Ikramullah Mattonrokang, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, June 2018, The Effect Of Compression Ratio On The Performance Of Diesel Engine With Biodiesel Calophyllum Inophyllum Fuel, Academic Supervisors: Mega Nur Sasongko and Francisca Gayuh Utami Dewi,

People often assume that nyamplung seed is not useful but can be used as an alternative fuel substitute diesel is biodiesel. Nyamplung plant (*calophyllum inophyllum*) is one of the plants that has potential as a source of renewable fuels. The purpose of this research is to know the performance of diesel engine when using nyamplung biodiesel fuel mixed with pure diesel with variation of compression ratio.

This research uses nyamplung biodiesel fuel mixture with pure diesel with percentage of 10%, 20%, and 30% and using variation of compression ratio 15,5: 1; 17,5: 1; 19,5: 1. Testing using a four-step diesel engine branded yanmar 70N. The research begins with making nyamplung biodiesel from crude nyamplung oil and testing nyamplung biodiesel characteristic before testing on diesel engine. Then performed performance testing at 1600 rpm rotation until 2400 rpm with interval 200rpm and loading of 1 kg/cm².

The result showed that torque, power, and thermal efficiency for B10, B20, B30 increased with the addition of compression ratio, while the SFCe value decreased with increasing of compression ratio on diesel engine due to the high compression ratio of combustion that occurs more perfect

Keyword: Biodiesel Nyamplung, *Calophyllum Inophyllum*, Compression Of Ratio, Engine Diesel, Performance Of Diesel Engine.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penduduk Indonesia dari tahun ke tahun kian meningkat, info berdasarkan sensus penduduk 2010, pada tahun 2017 penduduk Indonesia terdapat 261,9 juta jiwa yang nantinya pada tahun 2020 akan meningkat menjadi 271,1 juta jiwa. Dengan begitu penduduk Indonesia memerlukan sumber daya lebih untuk memenuhi kebutuhannya. Begitu juga dengan kebutuhan kendaraan bermotor yang mengalami peningkatan dari tahun 2015 terdapat 121,4 juta kendaraan bermotor dan pada tahun 2016 terdapat 129,3 juta kendaraan bermotor (Badan Pusat Statistik, 2015). Hal ini menjadikan peningkatan industri otomotif di Indonesia yang terbesar di banding dengan industri lain. Meningkatnya permintaan kendaraan bermotor di Indonesia akan mengakibatkan ketersediaan minyak bumi semakin berkurang.

Minyak bumi ialah salah satu energi tak terbarukan. Energi tak terbarukan adalah energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang waktu pembentukannya sampai jutaan tahun. Menurut para ahli gas alam, minyak bumi, dan batu bara yang termasuk dalam kategori bahan bakar fosil yang diperkirakan akan habis 30 tahun lagi, bahan bakar gas habis dalam kurun waktu 70-80 tahun, dan bahan bakar padat 120 tahun lagi (Djoko Sungkono, 2011). Dari tahun ke-tahun teknologi otomotif semakin canggih, dari segi performa mesin maupun dari segi efisiensi tetapi dari teknologi yang super canggih belum bisa sepenuhnya menyelesaikan permasalahan yang menyinggung ketersediaan minyak bumi. Untuk meminimalisir permasalahan tersebut maka yang dibutuhkan ialah efisiensi konsumsi bahan bakar dari mesin kendaraan, untuk kasus ini mesin diesel dapat menjadi solusinya. Mesin diesel ialah mesin motor bakar yang tingkat efisiensi bahan bakarnya lebih tinggi dibandingkan mesin otto, dikarenakan rasio kompresi yang digunakan mesin diesel lebih tinggi dibandingkan mesin otto. Selain untuk kendaraan bermotor pengaplikasian mesin diesel juga banyak digunakan pada pabrik industri sebagai motor penggerak utama.

Selain menggunakan mesin diesel dengan efisiensi bahan bakar yang tinggi, bahan bakar mesin diesel yang biasanya menggunakan solar murni dialihkan menggunakan campuran biodiesel dengan minyak biji nyamplung. Dalam pengertian ilmiah, istilah biodiesel berarti bahan bakar mesin diesel yang dibuat dari sembarang sumber daya hayati (Bambang Prastyanto, 2012). Sedangkan menurut BSN (Badan Standardisasi Nasional)

biodiesel merupakan ester alkil dari asam-asam lemak. Tanaman nyamplung sering dijumpai di tepi pantai atau tepi sungai. Biji dari tanaman nyamplung dapat digunakan sebagai biodiesel terbarukan. Masyarakat sering menganggap bahwa biji nyamplung tidak berguna, akan tetapi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar. Biji nyamplung sangat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar yang terbarukan. Kandungan minyak biji nyamplung mencapai 50% hingga 70% dan mempunyai ketahanan bakar dua kali lipat lebih lama dibandingkan minyak tanah, serta kandungan sulfur yang dimiliki biji nyamplung termasuk sangat rendah, sehingga jika dijadikan bahan bakar maka emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran akan lebih ramah lingkungan maka dari itu, biji nyamplung mengandung banyak minyak nabati yang nantinya dapat diolah menjadi biodiesel (Sahirman 2009). Kandungan minyak biji nyamplung ialah sekitar 75% (Dweek dan Meadow, 2002), Proses pengolahan minyak biji nyamplung menjadi biodiesel memerlukan 3 proses, yaitu proses *degumming*, *esterifikasi* dan *trans esterifikasi*, dimana proses tersebut merupakan proses alkoholis yang menggunakan *methanol* sebagai reaktan (Rizal Alamsyah, 2012).

Penelitian ini menggunakan variasi rasio kompresi dikarenakan biodiesel yang digunakan ialah minyak biji nyamplung, dimana minyak biji nyamplung memiliki karakteristik bilangan setana dan viskositas lebih tinggi dibandingkan biosolar, maka untuk menghasilkan pembakaran yang lebih baik perlu menaikkan rasio kompresi yang ada pada mesin diesel Yanmar LN 70N-METM. Rasio kompresi merupakan perbandingan antara volume TMB (Titik Mati Bawah) dengan volume TMA (Titik Mati Atas) atau volume ruang bakar, dimana ketika rasio kompresi dinaikkan maka ruang bakar menjadi lebih kecil sehingga tekanan yang dihasilkan ruang bakar ketika proses pembakaran terjadi akan semakin tinggi, dan mengakibatkan bahan bakar lebih cepat terbakar. Penelitian ini nantinya akan mengetahui pengaruh rasio kompresi terhadap kinerja mesin diesel Yanmar LN 70N-METM yang berbahan bakar biodiesel menggunakan minyak biji nyamplung yang sudah diolah dan akan dicampur dengan bahan bakar solar murni. Selain itu dalam penelitian ini akan meneliti rasio kompresi yang dapat menghasilkan efisiensi terbaik dengan menggunakan bahan bakar biodiesel minyak biji nyamplung.

1.2 Rumusan Masalah

Menurut latar belakang, rumusan masalah yang akan menjadi permasalahan ialah bagaimana pengaruh rasio kompresi terhadap kinerja mesin diesel berbahan bakar biodiesel minyak biji nyamplung yang dimana kinerja mesin diesel meliputi torsi, daya, *specific fuel consumption*, dan efisiensi termal.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian pada kali ini, peneliti memberikan batasan-batasan yang bertujuan untuk memudahkan peneliti dalam mengerjakan penelitian ini. Berikut ini batasan permasalahan antara lain:

1. Gesekan yang terjadi pada sistem transmisi diabaikan
2. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan
3. Kesalahan yang terjadi pada proses transmisi diabaikan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh rasio kompresi terhadap kinerja mesin diesel yang berbahan bakar biodiesel dengan campuran solar murni dan minyak biji nyamplung
2. Mengetahui hasil kinerja mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel dengan campuran solar murni dan minyak biji nyamplung

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menerapkan teori yang didapatkan selama perkuliahan kedalam penelitian sebagai wujud mahasiswa yang berpendidikan
2. Memberikan informasi kepada pemerintah guna menunjang program penghematan energi tak terbarukan
3. Memberikan informasi kepada masyarakat Indonesia tentang energi alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Bambang Prastyanto (2012) melakukan penelitian dengan penambahan biodiesel dari minyak biji nyamplung pada bahan bakar solar terhadap hasil uji unjuk kerja mesin diesel generator set dengan prosentase volumetris 10%, 20%, 30% dan 100% (B10, B20, B30, dan B100). Seiring bertambahnya prosentase biodiesel minyak biji nyamplung untuk daya, torsi terjadi penurunan yang sama. Nilai penurunan rata-rata secara berturut 2,82%, 10,31%, 11,85%, dan 30,23%. Hal ini disebabkan semakin besar prosentase penambahan biodiesel minyak biji nyamplung pada biosolar mengakibatkan menurunnya nilai kalor, sehingga semakin besar prosentase penambahan biodiesel pada solar akan dapat menurunkan nilai torsi, daya, bmpe. Sedangkan untuk sfc terjadi kenaikan, nilai kenaikan rata-rata 1,87%, 20,88%, 20,72% dan 69, 15%. Hal ini disebabkan semakin besar penambahan prosentase biodiesel minyak biji nyamplung pada biosolar menyebabkan kenaikan pemakaian bahan bakar dikarenakan turunya nilai kalor yang berakibat pada turunya daya dan naiknya konsumsi bahan bakar.

Sudarmanta (2014), Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Mesin, menyatakan tentang Pengaruh Penambahan Biodiesel Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Motor Diesel Pada Derajat Waktu Injeksi *Advance*, menyimpulkan: pada pemakaian 100% biodiesel dapat mengurangi durasi *ignition delay* sampai 4 deg, durasi *premixed combustion* sampai 2 deg, *heat release* total sampai 26% emisi soot sampai 30% serta meningkatkan durasi *diffusion combustion* sebesar 3 deg dibandingkan dengan *fossil diesel*; pada pengukuran unjuk kerja mesin menunjukkan bahwa penambahan prosentase biodiesel kedalam campuran bahan bakar menghasilkan penurunan unjuk kerja (torsi, daya, bmpe, dan efisiensi termis) 1-3% untuk setiap penambahan 20% biodiesel pada campuran bahan bakar dan kenaikan *brake specific fuel consumption* 2-4 % untuk setiap penambahan 20% biodiesel pada campuran bahan bakar ; Pada pengukuran emisi mesin menunjukkan bahwa penambahan prosentase biodiesel kedalam campuran bahan bakar menghasilkan penurunan emisi partikel *soot* 4-6% untuk setiap penambahan 20% biodiesel pada campuran.

2.2 Pengertian Motor Diesel

Motor diesel merupakan motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dimana proses pembakaran yang terjadi membutuhkan tekanan tinggi dan temperatur udara tinggi yang nantinya akan dikompresi oleh piston yang posisi piston hampir mencapai titik mati atas (TMA). Maka dari itu motor diesel tidak memerlukan loncatan bunga api (percikan) untuk terjadi pembakaran di dalam ruang bakar. Melalui nosel bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar kemudian terjadi pembakaran didalam ruang bakar sehingga udara yang ada didalam silinder telah mencapai temperatur yang tinggi. Bahan bakar yang digunakan pada motor diesel dapat terbakar jika memenuhi syarat perbandingan rasio kompresi yang digunakan, yaitu 12-24 (Cengel:2014).

2.3 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkil ester dari rantai Panjang asam lemak, yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel dan bersumber dari bahan yang dapat diperbarui seperti minyak nabati atau lemak hewani. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, biodiesel memiliki kelebihan seperti bersifat *non-toxic*, biodegradable, mempunyai angka emisi CO₂ dan gas sulfur yang rendah dan sangat ramah terhadap lingkungan (Marchetti *et al*, 2008). Biodiesel dibuat dengan melakukan proses yang dimana proses tersebut adalah reaksi esterifikasi asam lemak bebas atau transesterifikasi trigliserida dengan methanol/etanol dan bantuan katalis sehingga menghasilkan metil ester/etil ester asam lemak dan gliserol (Sufriani, 2006).

2.4 Biodiesel Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*)

Nyamplung termasuk jenis tanaman yang biasanya tumbuh di sekitar tepi pantai di Indonesia. Nyamplung atau biasa disebut *calophyllum inophyllum* berasal dari Afrika Timur dan pantai India akan tetapi tanaman ini tumbuh di daerah tropis khususnya di negara sekitar Samudra Hindia dan Samudra Pasifik.

Minyak biji nyamplung yang telah melewati proses pengepresan biasanya bewarna kehijauan dengan memiliki kadar asam lemak bebas yang masih tinggi maka dari itu untuk menjadikan biodiesel harus dilakukan proses pendahuluan terlebih dahulu yakni proses *degumming* dan esterifikasi. Sahirman (2009) melakukan proses pembuatan biodiesel dari biji tanaman nyamplung, proses *degumming* merupakan proses yang sangat mempengaruhi kualitas minyak nyamplung. *Degumming* dilakukan pada suhu 80 derajat celcius selama 15 menit dan akan dilanjutkan dengan pembersihan menggunakan air hangat dengan suhu 60

derajat celcius, sampai warna minyak yang tadinya kehijauan berubah menjadi kemerahan, seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hasil ekstrak minyak biji nyamplung

2.5 Karakteristik Minyak Nyamplung

Perbandingan standar ASTM D6751-3 dan SNI 04-7182-2012 untuk karakteristik minyak nyamplung, komposisi asam lemak dibandingkan minyak nabati lainnya dan karakteristik biodiesel nyamplung dapat dilihat pada Tabel 2.1 kandungan minyak nyamplung, Tabel 2.2 komposisi asam lemak minyak nyamplung, dan Tabel 2.3 karakteristik biodiesel nyamplung.

Tabel 2.1

Kandungan Minyak Nyamplung

No.	Jenis Analisis	Satuan	Hasil
1	Air	%	0,25
2	Densitas	G/ml	0,944
3	Kekentalan	Cp	21,97
4	Bilangan Asam	mg KOH/g	59,94
5	Asam lemak Bebas	%	29,53
6	Bilangan Iod	Mg/g	86,42

Sumber: Bustomi, *et al* (2013)

Pada Tabel 2.1 minyak nyamplung mengandung kadar asam bebas yang tinggi yakni, 29,53% sedangkan pada bilangan asam terdapat 59,94 mg KOH/g, sehingga perlu di proses *degumming*, esterifikasi dan transesterifikasi untuk dijadikan biodiesel sebagaimana standar biodiesel.

Tabel 2.2

Komposisi Asam Lemak Minyak Nyamplung Dibandingkan Minyak Nabati Lainnya

No.	Komponen	M. Nyamplung	M. Jarak	CPO	M. Kedele
1	Asam miristat	0,09	-	0,7	0,1
2	Asam palmitat	15,89	11,9	39,2	10,2
3	Asam stearat	12,30	5,2	4,6	3,8
4	Asam oleat	48,49	29,9	41,4	22,8
5	Asam linoleat	20,70	46,1	10,5	51,0
6	Asam lonolenat	0,27	4,7	0,3	6,8
7	Asam arachidat	0,94	-	-	0,28

No.	Komponen	M. Nyamplung	M. Jarak	CPO	M. Kedele
8	Asam erukat	0,72	-	-	0,2

Sumber: Sudrajat *et al* (2007)

Pada Tabel 2.3 karakteristik biodiesel minyak nyamplung dibandingkan standar ASTM D 6751-3 sebagian parameter belum memenuhi standar nilai seperti pada viskositas kinematik biodiesel minyak nyamplung yang memiliki kekentalan lebih tinggi yaitu 7,724 mm²/s sedangkan batas nilai standar ialah 2,3-6,0 mm²/s. Pada titik nyala biodiesel minyak nyamplung berada pada suhu tinggi 151°C sedangkan batas nilai standar ialah 100°C, ini berakibat penyalaan bahan bakar biodiesel minyak nyamplung akan lebih lambat. Pada dasarnya parameter lainnya biodiesel minyak nyamplung telah memenuhi standar.

Tabel 2.3

Karakteristik Biodiesel Nyamplung Dibandingkan Standar ASTM D 6751-3

No.	Parameter	Satuan	Metode Uji	Nilai	Biodiesel Nyamplung
1	Massa jenis pada 40°C	Kg/m ³	ASTM D 1298	850	888,6
2	Viskositas kinematik pada 40°C	Mm ² /s	ASTM D 445	2,3-6,0	7,724
3	Bilangan setana	-	ASTM D 613	Min 51	51
4	Titik nyala	°C	ASTM D 93	Min 100	151
5	Titik kabut	°C	ASTM D 2500	Maks 18	38
6	Abu tersulfatkan	% massa	ASTM D 874	Maks 0,02	0,026
7	Belerang	Ppm-m	ASTM D 1266	Maks 100	16
8	Fosfor	Ppm-n	ASTM D 1091	Maks 10	0,223
9	Bilangan asam	Mg-KOH/gram	AOCS Cd 3d-63	Maks 0,8	0,96
10	Gliserol total	% massa	AOCS Ca 14-56	Maks 0,24	0,232

Sumber: Sahirman (2009)

2.6 Bahan Bakar Solar

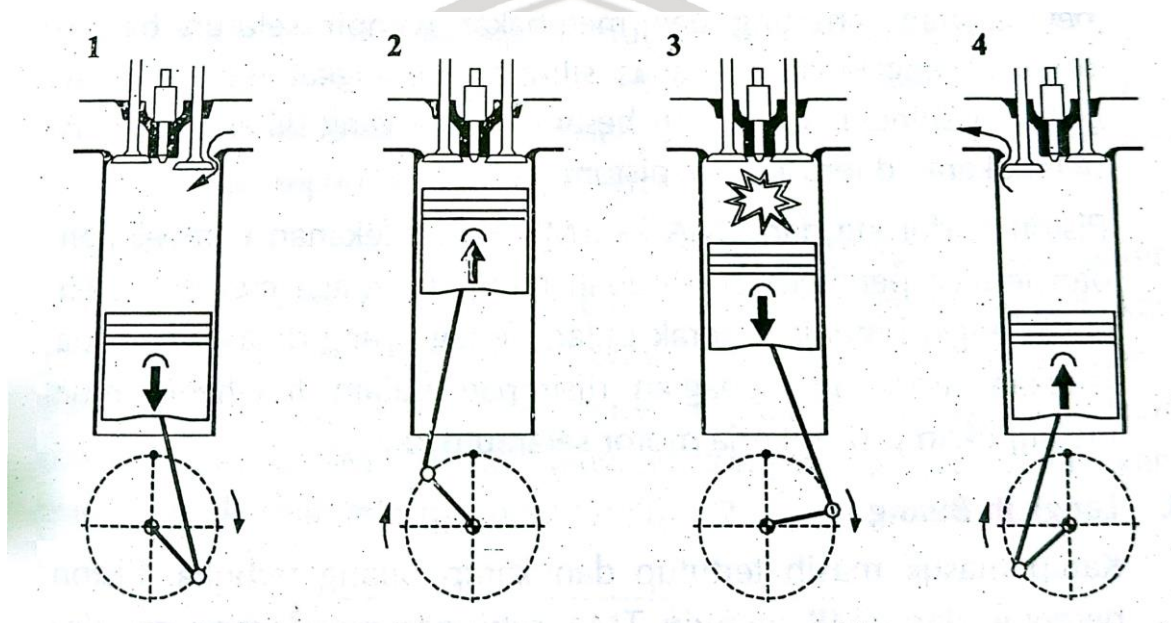
Bahan bakar solar merupakan bahan bakar dari minyak bumi mentah yang di suling sehingga memiliki warna kuning coklat yang jernih (Pertamina, 2005). Pada dasarnya minyak bumi mentah dipisahkan fraksi-fraksinya pada proses destilasi kemudian menghasilkan fraksi solar dengan titik didih 250°C sampai 300°C. Penggunaan bahan bakar solar umumnya di gunakan untuk semua jenis mesin diesel pada pembakaran langsung dalam dapur-dapur kecil yang diinginkan pembakaran yang bersih. Biasanya minyak solar juga disebut *automotive diesel oil*, *gas oil*, *high speed diesel* (Pertamina, 2005). Bahan bakar solar mempunyai sifat utama, yaitu:

1. Mempunyai berat jenis sekitar 0,82 kg.m³ – 0,86 kg.m³
2. Mempunyai kandungan sulfur yang lebih besar daripada bensin
3. Mempunyai titik nyala yang tinggi (40°C sampai 100°C)
4. Tidak mempunyai warna atau hanya sedikit kekuningan dan berbau

5. Encer dan tidak mudah menguap pada suhu normal
6. Mampu menimbulkan panas sebesar (10.500 kcal/kg)

2.7 Prinsip Kerja Motor Diesel 4 Langkah

Pembakaran dan pengatomisasian (*atomizing*) bahan bakar pada motor diesel tidak sama dengan motor bensin, pada motor diesel 4 langkah, katup masuk dan katup buang digunakan untuk mengontrol proses pemasukan dan pembuangan gas dengan membuka dan menutup saluran masuk dan saluran buang. Pada Gambar 2.2 merupakan proses prinsip kerja motor diesel 4 langkah beserta penjelasannya.



Gambar 2.2 Prinsip kerja mesin diesel 4 langkah
Sumber: Zainal Arifin (2011:5)

1. Langkah Hisap

Pada langkah ini, piston bergerak dari TMA ke TMB, katup isap membuka dan katup buang menutup sehingga udara segar masuk ke dalam silinder akibat adanya kevakuman melalui *intake manifold*.

2. Langkah Kompresi

Pada langkah kompresi, katup masuk dan katup buang tertutup, udara yang sudah masuk ke dalam silinder akan ditekan oleh piston yang bergerak dari TMB ke TMA. Perbandingan kompresi pada motor diesel berkisar antara 1:15 sampai 1:22. Akhir langkah kompresi injector menyemburkan bahan bakar ke dalam udara panas yang tekanannya dapat mencapai 40 bar.

3. Langkah Usaha

Pada awal langkah usaha bahan bakar yang sudah teratomisasi akan terbakar sebagai hasil pembakaran langsung dan membakar hampir seluruh bahan bakar. Tenaga yang dihasilkan pada langkah usaha ini sebagian disimpan dalam *flywheel* untuk melanjutkan proses kerja motor selanjutnya.

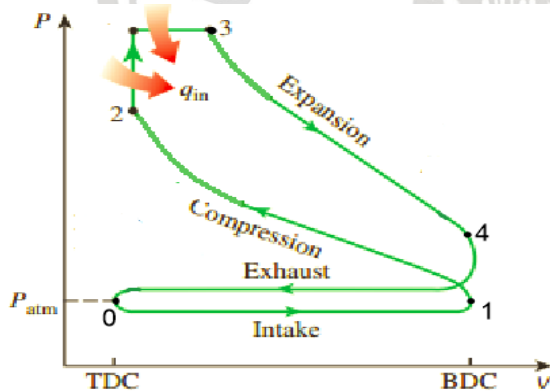
4. Langkah Buang

Katup masuk masih tertutup dan katup buang terbuka. Piston bergerak dari TMB menuju TMA sehingga mendorong gas sisa pembakaran (gas buang) keluar melalui katup buang yang terbuka. Akhir langkah buang katup masuk terbuka sehingga udara segar masuk ke dalam silinder dan ikut mendorong gas buang keluar.

2.8 Siklus Termodinamika Motor Diesel

Siklus termodinamika merupakan perpindahan panas dan suatu kerja dari suatu sistem yang diikuti dengan perubahan tekanan, volume, temperatur, entropi dimana pada akhirnya sistem kembali ke keadaan semula.

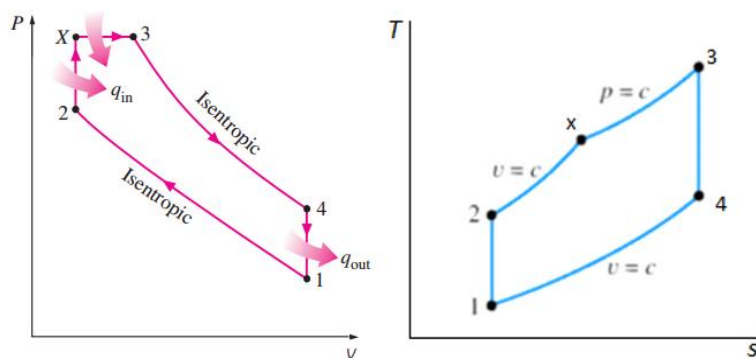
Gambar 2.3 menjelaskan siklus termodinamika motor diesel udara standar, proses pembakaran didekati melalui penambahan panas pada tekanan konstan yang kemudian siklus ini biasa disebut juga dengan siklus tekanan konstan.



Gambar 2.3 Siklus mesin diesel 4 langkah
Sumber: Cengel (2014:500)

1. Langkah 0-1 = langkah hisap, tekanan (p) konstan.
2. Langkah 1-2 = Langkah kompresi, kondisi isentropic.
3. Langkah 2-3 = Proses pemasukan kalor, tekanan konstan
4. Langkah 3-4 = Proses ekspansi secara isentropic
5. Langkah 4-0 = langkah pengeluaran kalor

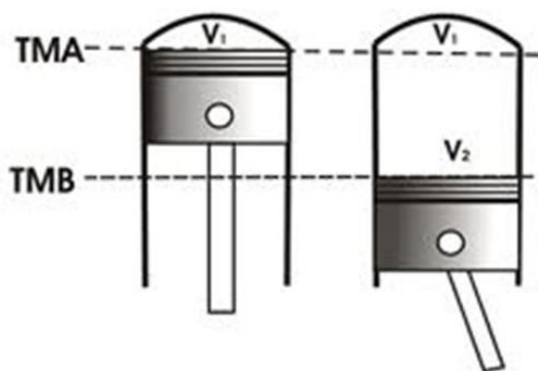
Berikut diagram P-V dan T-S siklus Diesel.



Gambar 2.4 (a) P-V Diagram Siklus Diesel; (b) T-S Diagram Siklus Diesel
Sumber: Cengel (2005:501)

2.9 Rasio Kompresi

Efisiensi motor sangat dipengaruhi oleh tekanan silinder ketika proses pembakaran, salah satu cara meningkatkan tekanan silinder yaitu menaikkan rasio kompresi, dengan rasio kompresi meningkat, efisiensi termal juga meningkat tetapi seiring peningkatan rasio kompresi akan meningkatkan tekanan maksimum silinder Arismunandar (1993). Rasio kompresi merupakan perbandingan antara volume silinder ($V_{TMA} + V_{TMB}$) dengan volume ruang bakar (V_{TMA}). Nilai perbandingan rasio kompresi dilihat dengan perbandingan antara volume total dibagi dengan volume ruang bakar.



Gambar 2.5 Rasio kompresi
Sumber: Philip Kristanto (2011)

2.9.1 Hubungan Rasio Kompresi terhadap Kinerja Mesin Diesel

Proses pembakaran yang terjadi pada motor diesel sangat bergantung pada tekanan silinder yang dihasilkan. Udara yang ada di dalam silinder dikompresikan oleh gerakan piston dari TMB (titik mati bawah) menuju TMA (titik mati atas). Pada kasus ini pengurangan gasket akan membuat volume ruang bakar akan semakin kecil, sehingga ketika udara dikompresikan oleh gerakan piston dari TMB menuju TMA dengan pengurangan gasket akan menghasilkan tekanan yang lebih tinggi dibandingkan sebelumnya. Tekanan

kompresi yang dihasilkan semakin tinggi pada saat proses pembakaran akan mengakibatkan temperatur udara dalam silinder semakin meningkat. Semakin tinggi panas yang dihasilkan, maka proses pembakaran yang terjadi akan lebih baik. Untuk mendapatkan rasio kompresi yang sesuai maka perlu diperhatikan karakteristik yang ada pada bahan bakar biodiesel yang akan digunakan.

2.9.2 Contoh Perhitungan Rasio Kompresi dengan Menggunakan Gasket

Mengubah rasio kompresi yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan cara menambah ketebalan *head gasket*. Berikut dibawah ini cara mentukan ketebalan gasket pada variasi rasio kompresi yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2.4

Spesifikasi Mesin Yanmar LN 70

Spesifikasi Mesin Yanmar Standar	
Diameter piston (<i>Bore</i>)	7,8 cm
Langkah piston (<i>Stroke</i>)	6,2 cm
Volume silinder (<i>Displacement</i>)	296,258 cm ³
Perbandingan Kompresi	17,5 : 1
Tebal gasket	0,90 mm

Tabel 2.4 menjelaskan spesifikasi mesin yang digunakan dalam penelitian ini. Untuk mendapatkan volume ruang bakar, langkah yang pertama menentukan volume ruang bakar mesin tersebut dengan menggunakan persamaan 2.1 sebagai contoh perhitungan berikut.

$$r_c = \frac{V_L}{\text{Volume TMA}} + 1 \quad (2-1)$$

$$17,5 = \frac{296,258 \text{ cm}^3}{\text{Volume TMA}} + 1$$

$$16,5 = \frac{296,258 \text{ cm}^3}{\text{Volume TMA}}$$

$$V_{\text{TMA}} = \frac{296,258 \text{ cm}^3}{16,5}$$

$$V_{\text{TMA}} = 17,95 \text{ cm}^3$$

Setelah didapatkan volume ruang bakar dengan menggunakan *gasket* setelah itu dilanjutkan menghitung tebal *gasket* pada rasio kompresi 19,5 yang tercantum pada tabel 2.4.

$$19,5 = \frac{296,258 \text{ cm}^3}{\text{Volume TMA}} + 1 \quad (2-2)$$

$$18,5 = \frac{296,258 \text{ cm}^3}{\text{Volume TMA}}$$

$$V_{\text{TMA } 19,5} = 16,01 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{Gasket } 19,5} = V_{\text{TMA } 17,5} - V_{\text{TMA } 19,5}$$

$$V_{\text{gasket } 19,5} = 17,95 - 16,01$$

$$V_{\text{gasket } 19,5} = 1,94 \text{ cm}^3$$

$$1,94 \text{ cm}^3 = \frac{\pi}{4} \times 7,8 \times T_{\text{gasket}}$$

$$T_{\text{gasket}} = \frac{1,94 \text{ cm}^3}{\frac{\pi}{4} \times (7,8 \text{ cm})}$$

$$T_{\text{gasket } 19,5} = 2,46 \text{ cm}$$

$$T_{\text{gasket } 19,5} = 0,24 \text{ mm}$$

Menentukan ketebalan gasket dalam penelitian ini dapat dilihat pada langkah perhitungan rasio kompresi 19.5. Dimulai dengan menentukan rasio kompresi yang akan digunakan dengan nilai $V_{\text{ruang bakar}}$ yang tetap kemudian didapatkan ketebalan gasket yang akan digunakan.

Tabel 2.5

Ketebalan Gasket Masing-Masing Rasio Kompresi

Rasio Kompresi	Volume Gasket (mm)	Ketebalan (mm)
19,5	1,94	0,24
17,5	4,3	0,9
15,5	6,7	1,41

2.10 Air Fuel Ratio (AFR)

Air fuel ratio merupakan parameter yang paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran. AFR merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau. *Air fuel ratio* juga dapat dinyatakan dalam perbandingan volume karena sebanding dengan perbandingan mol. Perbandingan volume ini sering digunakan untuk bahan bakar gas. Campuran udara dan bahan bakar dengan komposisi yang tepat untuk menghasilkan pembakaran sempurna yang disebut campuran stoikiometri. AFR dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$AFR = \frac{m \text{ udara}}{m \text{ bahan bakar}} \quad (2-3)$$

Dengan:

$m \text{ udara}$ = Massa molekul udara

$m \text{ bahan bakar}$ = Massa molekul bahan bakar

Bila nilai aktual lebih besar daripada AFR stoikiometri maka terdapat udara yang jumlahnya berlebih dari pada yang dibutuhkan pada sistem dalam proses pembakaran maka dapat dikatakan campuran tersebut miskin bahan bakar. Tetapi bila nilai aktual lebih kecil

dari AFR stoikiometri maka tidak terdapat cukup udara pada sistem, dapat disimpulkan bahwa campuran tersebut kaya bahan bakar.

2.11 Karakteristik Bahan Bakar Diesel

2.11.1 Nilai Kalor (*Heating Value*)

Nilai kalor merupakan karakteristik utama dari setiap bahan bakar, dimana karakteristik seberapa banyak *power* yang di hasilkan sewaktu bahan bakar dibakar. Nilai kalor bahan bakar menunjukkan seberapa besar energi yang terkandung di dalamnya. Bahan bakar terdiri dari senyawa antara hydrogen, carbon, dan unsur lain yang tak terbakar yang sulit dipisahkan dari minyak mentah. Pengukuran nilai kalor bahan bakar digunakan sebuah alat yang biasa dinamakan kalori meter (Sukoco dan Arifin; 2008:48).

2.11.2 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis bahan bakar merupakan perbandingan kepadatan bahan bakar dengan kepadatan air. Pengukuran berat jenis diukur dengan menggunakan alat ukur hydrometer. Berat jenis bahan bakar motor diesel dapat berpengaruh pada daya penetrasi saat di injeksikan ke dalam ruang bakar, semakin berat bahan bakar maka nilai kalor yang dihasilkan semakin besar.

2.11.3 Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala ialah dimana temperatur bahan bakar sudah siap dinyalakan ketika bersinggungan dengan api. Titik api berada di atas titik nyala yaitu sekitar 10°C sampai dengan 20°C. Titik nyala api bahan bakar menjadi parameter besarnya bahaya kebakaran, bahan bakar yang titik nyala api rendah akan sangat berpotensi untuk terjadi kebakaran.

2.11.4 Kekentalan (*Viscosity*)

Kekentalan bahan bakar dapat berfungsi sebagai pelumas komponen sistem bahan bakar, akan tetapi bila kekentalan bahan bakar terlalu tinggi akan mengakibatkan terjadinya kabutan yang kasar. Dampaknya proses pembakaran tidak dapat menghasilkan energi panas yang ideal, dan asap gas buang juga akan menghitam. Asap yang tebal pada kendaraan diesel biasa disebabkan oleh kondisi mesin dan kualitas bahan bakar.

2.11.6 Titik Uap (*Volatility*)

Titik uap bahan bakar dilihat pada perbandingan udara dan uap bahan bakar yang dapat dibentuk pada temperatur yang sudah ditentukan. Bahan bakar diesel titik uap ditunjukkan dengan 90% temperatur destilasi.

2.11.7 Kualitas Penyalaan (*Cetane Number*)

Semakin tinggi angka setana bahan bakar maka akan semakin pendek waktu yang dibutuhkan untuk memulai pembakaran. Hal ini kebalikan dari kualitas penyalaan bensin yang biasa disebut oktana, dimana semakin tinggi angka oktana maka semakin Panjang waktu yang dibutuhkan untuk memulai pembakaran. Nilai cetan dari kebanyakan minyak diesel berkisar antara 30-60. (Wardana, 2008), angka setana bahan bakar 50 berarti 50% *Polyolifin* dan 50% *Alpha Methil Napthalene*. Meningkatkan angka setana bahan bakar dapat menggunakan senyawa *Oxyorganik* yang biasanya disebut “*Diesel Dope*” (Sukoco dan Arifin, 2008:50-51).

2.11.8 Oksidasi dan Air

Oksidasi dan air dapat menjadi permasalahan pada mesin diesel. Oksidasi kotor yang masih ada pada bahan bakar akan mengakibatkan keausan dini, dan kemungkinan menyumbat saluran bahan bakar. Kandungan abu dan air pada bahan bakar yang diizinkan ialah 0,01% abu, dan 0,05% untuk air.

2.11.9 Karakteristik Kinerja Motor Bakar

Dengan adanya bentuk hubungan antara indikator kerja dengan indikator operasional, maka dapat diketahui kondisi optimum suatu motor bakar harus dioperasikan, atau apakah kondisi suatu motor bakar masih baik dan layak untuk dioperasikan.

2.12.1 Torsi

Tekanan yang dihasilkan dari langkah kerja energi hasil pembakaran menyebabkan piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (Titik Mati Bawah) yang kemudian energi tersebut disalurkan melalui *connecting rod* dan diubah *crank shaft* dari gerak translasi menjadi gerak rotasi. Berputarnya *crank shaft* menimbulkan gaya yang biasa disebut moment putar. Alat ukur yang dapat mengukur besarnya nilai torsi suatu kinerja mesin ialah *dynamometer*. Nilai torsi didapat dari hubungan perkalian besarnya beban pengereman pada

dynamometer dengan Panjang lengan yang dihubungkan dengan timbangan dengan poros. Persamaan dapat dirumuskan sebagai berikut (Arismunandar 1993).

$$T = F \times l \quad (2-4)$$

Sumber: Arismunandar (1993)

Dengan:

T = Torsi (kgf.m)

F = Besar Gaya Putar Yang Terbaca Pada Timbangan (kgf)

L = Panjang Lengan *Dynamometer* (cm)

2.12.2 Daya

Daya yang didapatkan dari poros mesin atau biasa disebut sebagai daya poros yang digunakan untuk menggerakkan beban, atau proposional dinamakan daya poros. Daya poros dihasilkan dari daya indikasi yang diperoleh dari energi hasil pembakaran. Dari beberapa daya indikasi yang terbuang adanya gesekan-gesekan mekanik pada komponen mesin hingga daya poros nilainya lebih kecil dan digunakan sebagai batasan indikator kinerja mesin (Arismunandar 1993). Daya poros dapat dihitung dengan perkalian torsi (T) dengan putaran poros (n). Berikut persamaannya:

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,5} \quad (2-5)$$

Sumber: Arismunandar (1993)

Dengan:

Ne = Daya Poros (PS)

T = Torsi (kgf.m)

ω = Kecepatan Anguler Poros (rad. detik⁻¹)

n = Putaran Poros (rpm)

2.12.3 Specific Fuel Consumption Effective (SFCe)

Specific fuel consumption effective ialah banyaknya penggunaan bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya efektif selama 1 jam. Nilai SFCe dihasilkan dari pembagian dari nilai daya efektif dan konsumsi bahan bakar yang didapatkan (Arismunandar 1993). Untuk mendapatkan hasil SFCe dapat menggunakan rumus dibawah ini.

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e} = \frac{Q \cdot \rho \cdot \frac{3600}{1000}}{N_e} \quad (2-6)$$

Sumber: Arismunandar (1993)

Dengan:

SFCe = Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (kg/PS.jam)

- Q = Debit bahan Bakar (ml)
 ρ = Massa Jenis Bahan Bakar (gr/ml)
 FC = Penggunaan Bahan Bakar Tiap Jam (kg/jam)
 Ne = Daya Poros (PS)

2.12.4 Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara kalor yang diperoleh untuk menghasilkan daya dengan energi panas bahan bakar yang dalam waktu yang sama. Efisiensi termal efektif juga dapat mengetahui keefisienan atau tidaknya penggunaan bahan bakar untuk menghasilkan daya. Nilai yang dihasilkan efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar efektif SFCe. Besarnya nilai efisiensi termal efektif dapat dihitung menggunakan perumusan sebagai berikut (Arismunandar 1993).

$$\eta_{te} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} \times 100\% = \frac{632}{F_c / N_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\% = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\% \quad (2-7)$$

Sumber: Arismunandar (1993)

Dengan:

Qe = Panas hasil pembakaran yang diubah menjadi daya efektif (kcal/jam)

η_e = Efisiensi termal efektif (%)

LHV_{bb} = Nilai kalor dari bahan bakar (kcal/kg)

Qb = Panas hasil pembakaran (kcal/jam)

2.13 Hipotesis

Peningkatan rasio kompresi pada mesin diesel, menyebabkan tekanan dalam silinder serta temperatur ruang bakar menjadi lebih tinggi, sehingga biodiesel biji minyak nyamplung yang mempunyai bilangan setana dengan karakteristik titik nyala dan viskositas yang melebihi standar biodiesel pada umumnya dapat menghasilkan proses pembakaran yang sempurna. Hal ini dapat meningkatkan kinerja mesin. Namun ketika rasio kompresi tetap dengan peningkatan kadar minyak nyamplung secara terus menerus pada bahan bakar solar murni akan mengakibatkan penurunan kinerja mesin.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Sebelum melakukan pengujian, peneliti terlebih dahulu melakukan pengambilan data *sample* bahan bakar campuran tiap variasi. Dimulai dengan kadar solar murni (B0), bioiesel B10, B20 dan B30. Setelah mendapatkan data *sample*, pengambilan data dimulai dengan melakukan dengan penggantian rasio kompresi mesin kemudian mengganti bahan bakar. Cara pengambilan data dengan mengoperasikan motor pada putaran 1600 – 2400 rpm dengan interval 200 rpm putaran konstan. Data hasil pengujian yang diperoleh dari *engine test bench* adalah sebagai berikut:

Tekanan pembebanan : 1 kg/cm²

Temperatur mesin : 55±5°C

Waktu debit bahan bakar : 10 s

(Data hasil pengujian karakteristik, gaya, dan konsumsi bahan bakar dapat dilihat pada **Lampiran 2**)

Tabel 4.1

Prosentase Volume Minyak Nyamplung Campuran Bahan Bakar

Bahan Bakar	Persentase Volume (%)	
	Solar	Biodiesel
B0	100	0
B10	90	10
B20	80	20
B30	70	30

4.1.2 Pengolahan Data

Sebagai contoh perhitungan, data diambil dari pengujian dengan bahan bakar solar dan variasi *rasio kompresi* 19.5 pada putaran 2400 rpm adalah sebagai berikut:

Hasil pengolahan data dapat dilihat pada (**Lampiran 3**).

Lower heating value solar : 10742.676 kcal/kg

Massa jenis : 0.848 g/ml

Viskositas@27°C : 10.98 cSt

Panjang lengan dynamometer : 0.315 m

Flashpoint : 47°C

Waktu debit bb : 10 s

- Torsi pada *crankshaft* (T)

$$\begin{aligned} T &= 1,6 \text{ kgf} \times 0.315 \text{ m} \\ &= 0,504 \text{ kgf.m} \end{aligned}$$

- Daya efektif (Ne)

$$\begin{aligned} Ne &= \frac{0.504 \text{ kgf.m} \times 2400 \text{ rpm}}{716.2} \\ &= 1,688 \text{ PS} \end{aligned}$$

- *Fuel Consumption* (FC)

$$\begin{aligned} FC &= \frac{1,133 \text{ ml}}{10 \text{ s}} \times 0.848 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times \frac{3600}{1000} \\ &= 0.338 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCe)

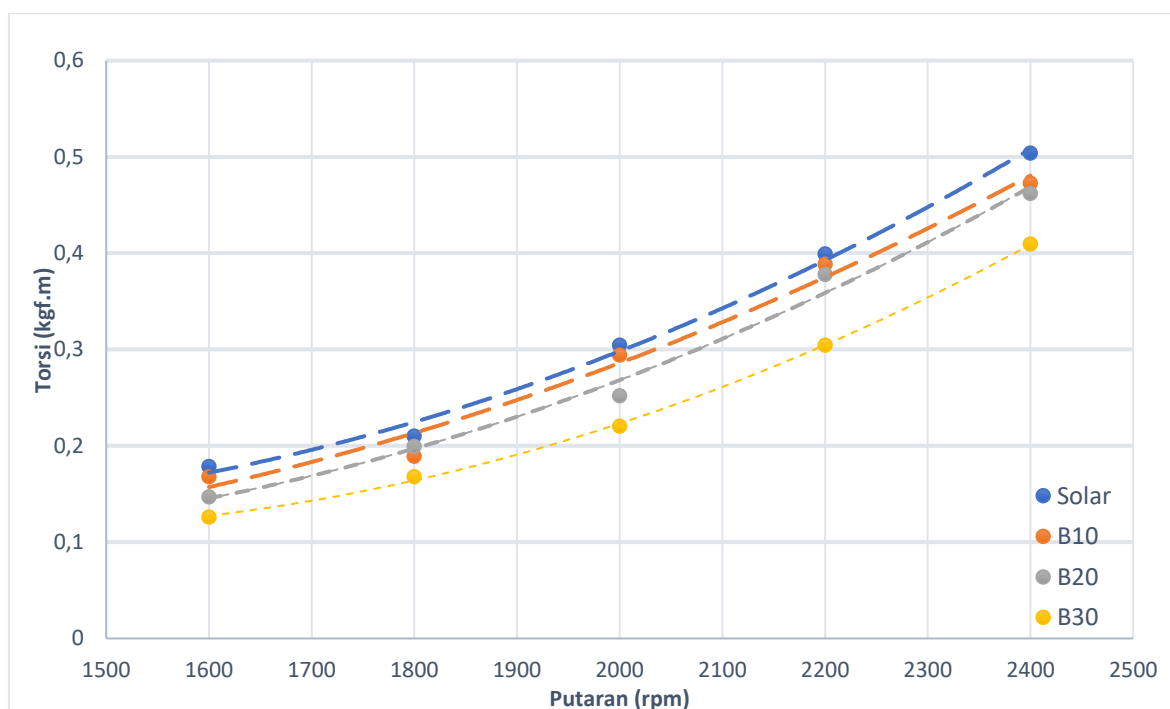
$$\begin{aligned} SFCe &= \frac{0.33864 \text{ kg/jam}}{1,68891 \text{ PS}} \\ &= 0.2005 \text{ kg/PS.jam} \end{aligned}$$

- Efisiensi Termal Efektif (η_e)

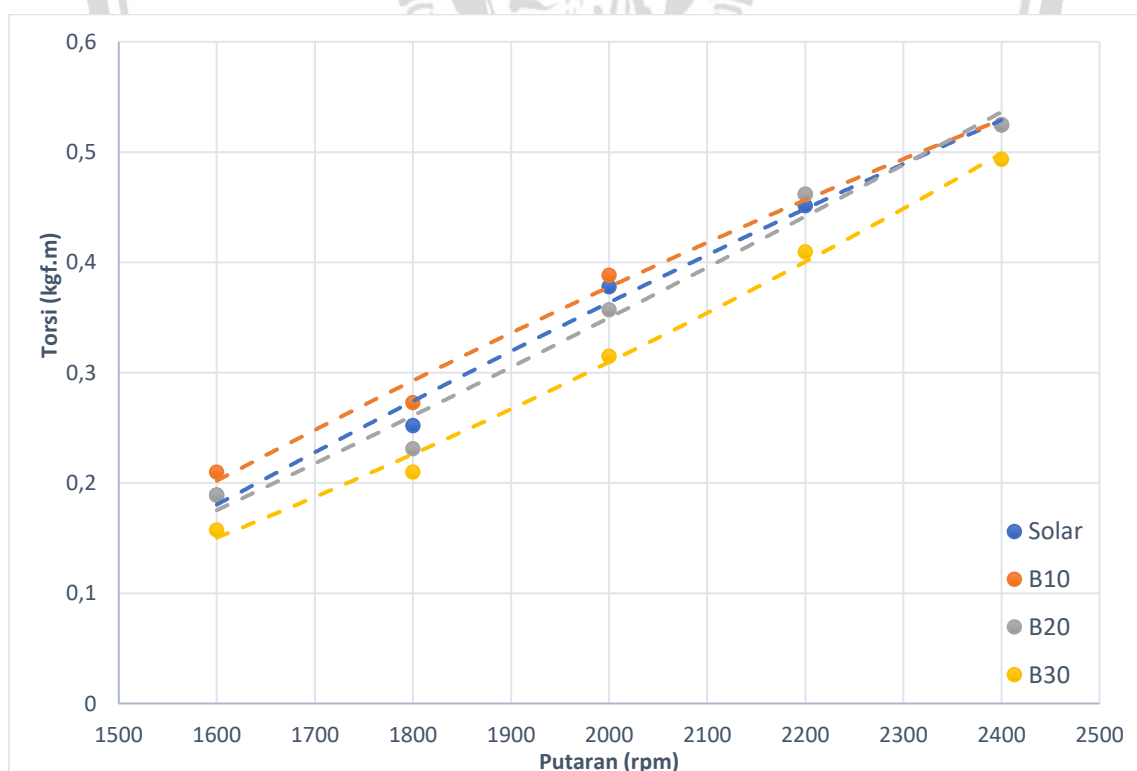
$$\begin{aligned} \eta_e &= \frac{632 \times 1,68891 \text{ PS}}{0,33864 \times 10742.676 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}} \cdot 100\% \\ &= 30,3585 \% \end{aligned}$$

4.2 Pembahasan

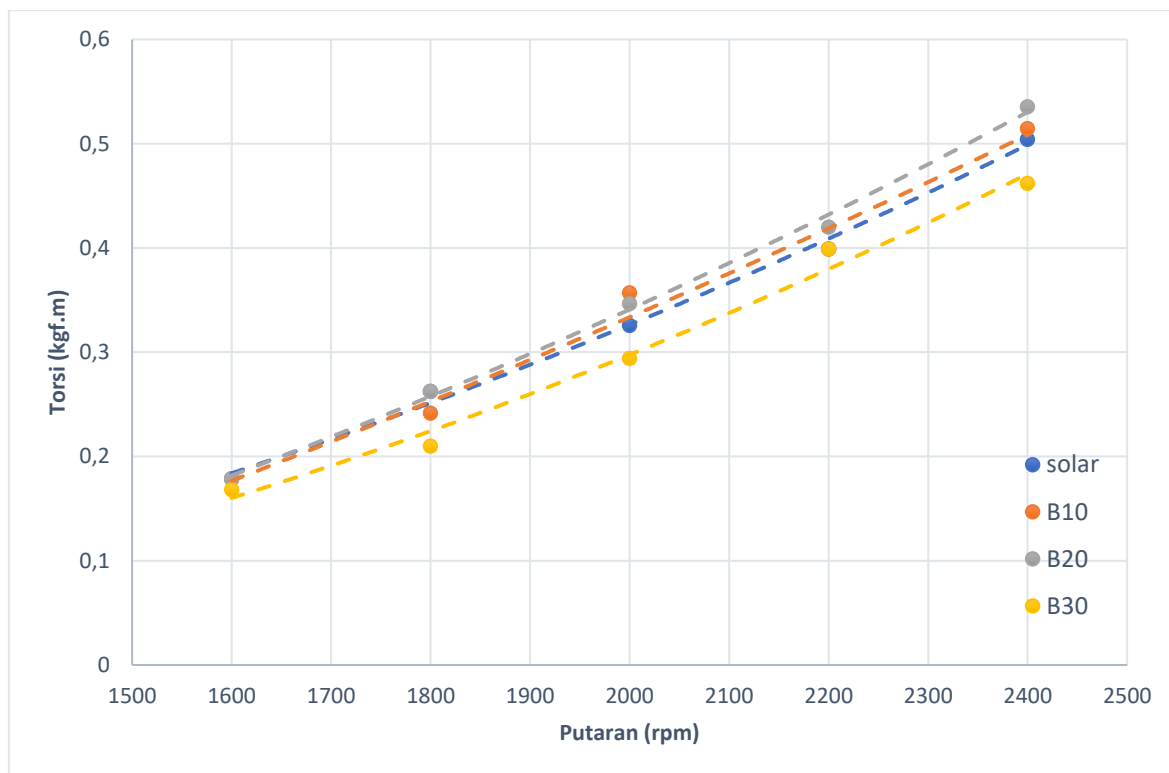
4.2.1 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Torsi



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 15.5



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 17.5



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 19.5

Gambar 4.1, 4.2, 4.3 merupakan hubungan antara torsi terhadap putaran mesin. Torsi didapat dari hasil perkalian antara beban pengereman pada poros yang terbaca pada neraca pegas dengan panjang lengan *dynamometer*. Dari grafik diatas kecenderungan ketika putaran meningkat torsi yang dihasilkan juga meningkat. Ketika putaran poros meningkat jumlah bahan bakar dan udara yang masuk silinder makin bertambah, sehingga tekanan dan energi panas hasil pembakaran mengalami peningkatan yang menyebabkan torsi yang dihasilkan juga meningkat.

Dari ketiga grafik dapat dilihat, dengan penambahan persentase biodiesel nyamplung pada bahan bakar campuran dengan rasio kompresi yang sama, akan menyebabkan penurunan nilai torsi. Hal ini disebabkan dari karakteristik bahan bakar biodiesel nyamplung yang tercantum pada tabel 4.2, bertambahnya prosentase biodiesel nyamplung pada bahan bakar campuran solar murni menyebabkan menurunnya nilai LHV dari bahan bakar. Namun dengan peningkatan rasio kompresi akan memperbaiki karakteristik pembakaran dari penambahan biodiesel nyamplung pada prosentase tertentu, sehingga torsi yang dihasilkan cenderung meningkat.

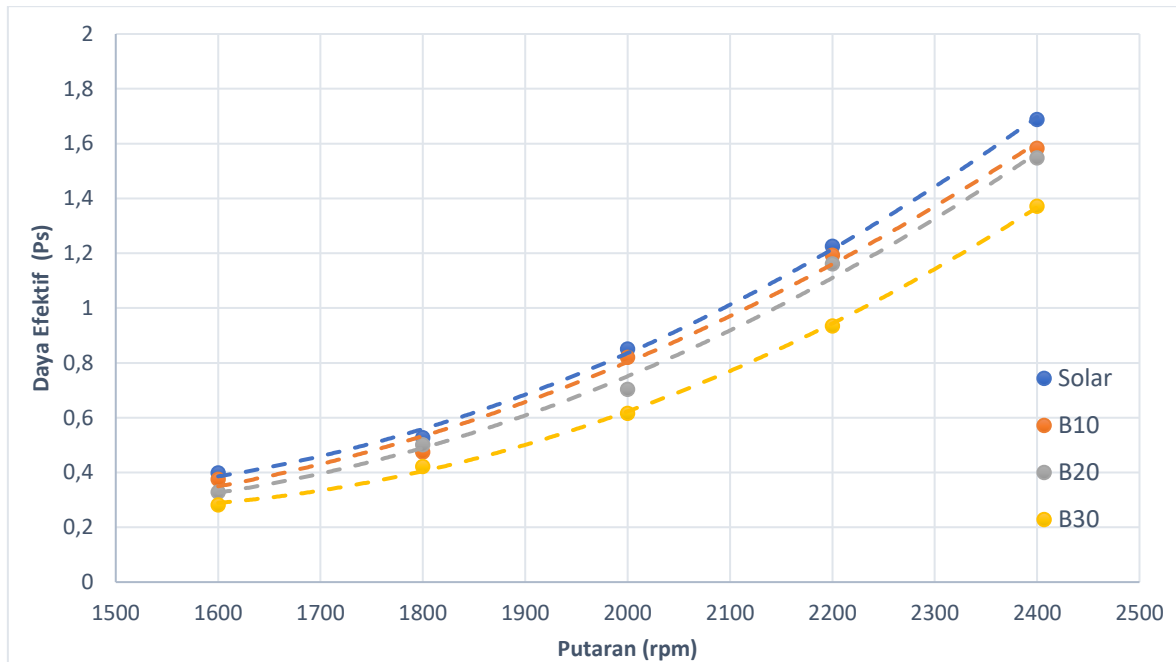
Bahan bakar biodiesel nyamplung mengandung asam lemak jenuh yang tinggi. Hal itu menyebabkan angka setana yang dimiliki biodiesel nyamplung lebih tinggi dibandingkan solar murni (Sahirman 2009). Bilangan setana yang lebih tinggi akan membantu start yang

baik dan meminimumkan pembentukan asap putih (Tyson 2004). Bilangan setana yang tinggi menunjukkan waktu yang lebih pendek antara injeksi bahan bakar dan pengapian (*ignition delay*) (Sahirman 2009). Gambar 4.1 dengan rasio kompresi 15,5:1 torsi yang dihasilkan biodiesel nyamplung lebih rendah dibandingkan solar murni. Hal ini disebabkan biodiesel nyamplung memiliki angka setana yang lebih tinggi dibandingkan solar murni yang dimana biodiesel nyamplung membutuhkan rasio kompresi yang tinggi untuk memaksimalkan pembakaran bahan bakar yang terjadi di ruang bakar. Selain itu bahan bakar biodiesel nyamplung memiliki karakteristik *flash point* yang cukup tinggi yang membuat bahan bakar biodiesel nyamplung lebih sulit terbakar dibandingkan dengan solar murni sehingga bahan bakar campuran biodiesel nyamplung tidak sepenuhnya terbakar ketika proses pembakaran terjadi dengan rasio kompresi 15,5:1, sehingga energi panas yang dihasilkan menurun yang berdampak pada torsi yang dihasilkan juga menurun.

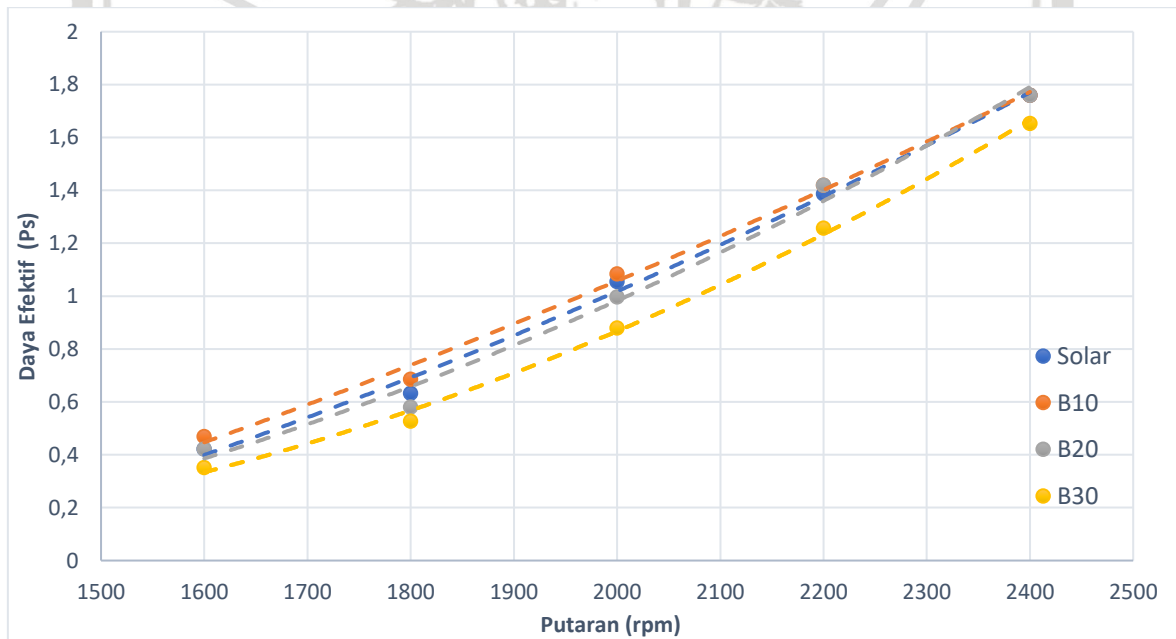
Sedangkan dengan meningkatnya rasio kompresi mesin, torsi yang dihasilkan mengalami peningkatan dari ke-empat bahan bakar. Hal ini dikarenakan dengan peningkatan rasio kompresi akan menaikkan tekanan dan temperatur ruang bakar sehingga dari peningkatan rasio kompresi dapat mempercepat *ignition delay* menyebabkan bahan bakar lebih cepat terbakar sehingga energi panas hasil pembakaran meningkat. Seiring bertambahnya prosentase biodiesel nyamplung pada bahan bakar solar murni memerlukan rasio kompresi yang tinggi dikarenakan karakteristik biodiesel nyamplung yang membutuhkan energi panas yang besar untuk dapat terbakar dengan sendirinya.

Dalam ketiga grafik menunjukkan torsi tertinggi diperoleh pada bahan bakar campuran B20 dengan rasio kompresi 19,5 sebesar 0,5355 kg.m. Hal ini dikarenakan pada rasio kompresi 19,5 bahan bakar biodiesel nyamplung yang memiliki bilangan sentana yang tinggi dapat terbakar dengan sempurna dan biodiesel nyamplung memiliki kandungan oksigen yang dapat membantu proses pembakaran, sedangkan pada rasio kompresi 17,5 torsi terbaik diperoleh dengan bahan bakar B20 sebesar 0,525 kg.m. Sementara untuk torsi tertinggi pada rasio kompresi 15.5 menghasilkan torsi terbaik dengan bahan bakar solar (B0) sebesar 0,504 kg.m.

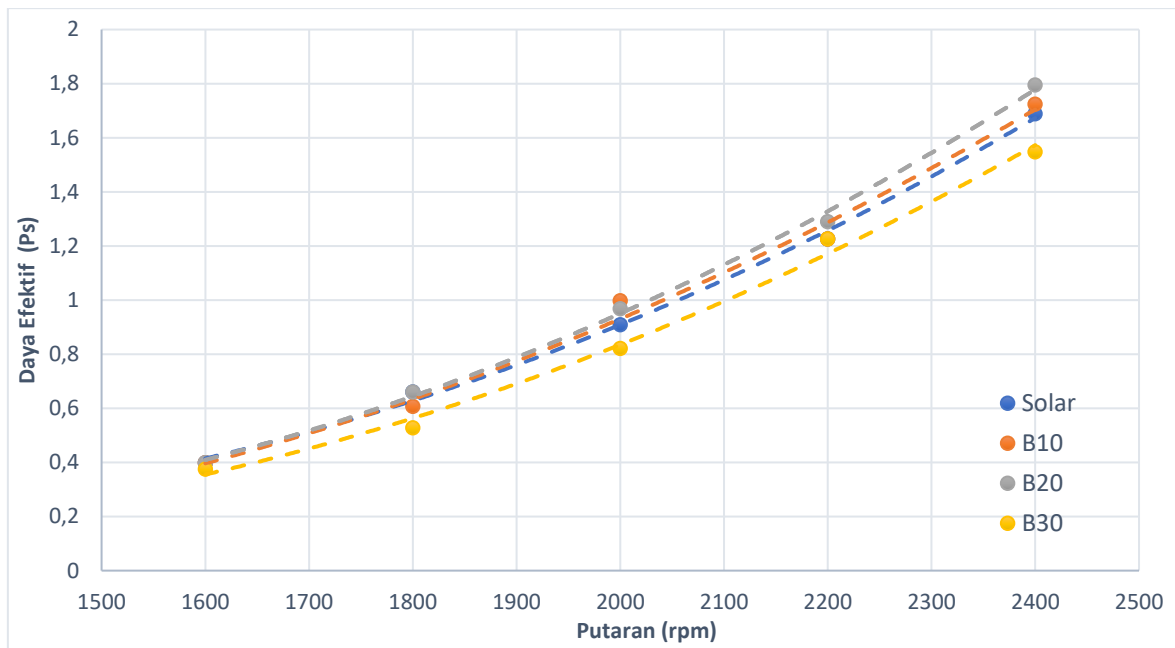
4.2.2 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Daya Efektif



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 15.5



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 17.5



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 19.5

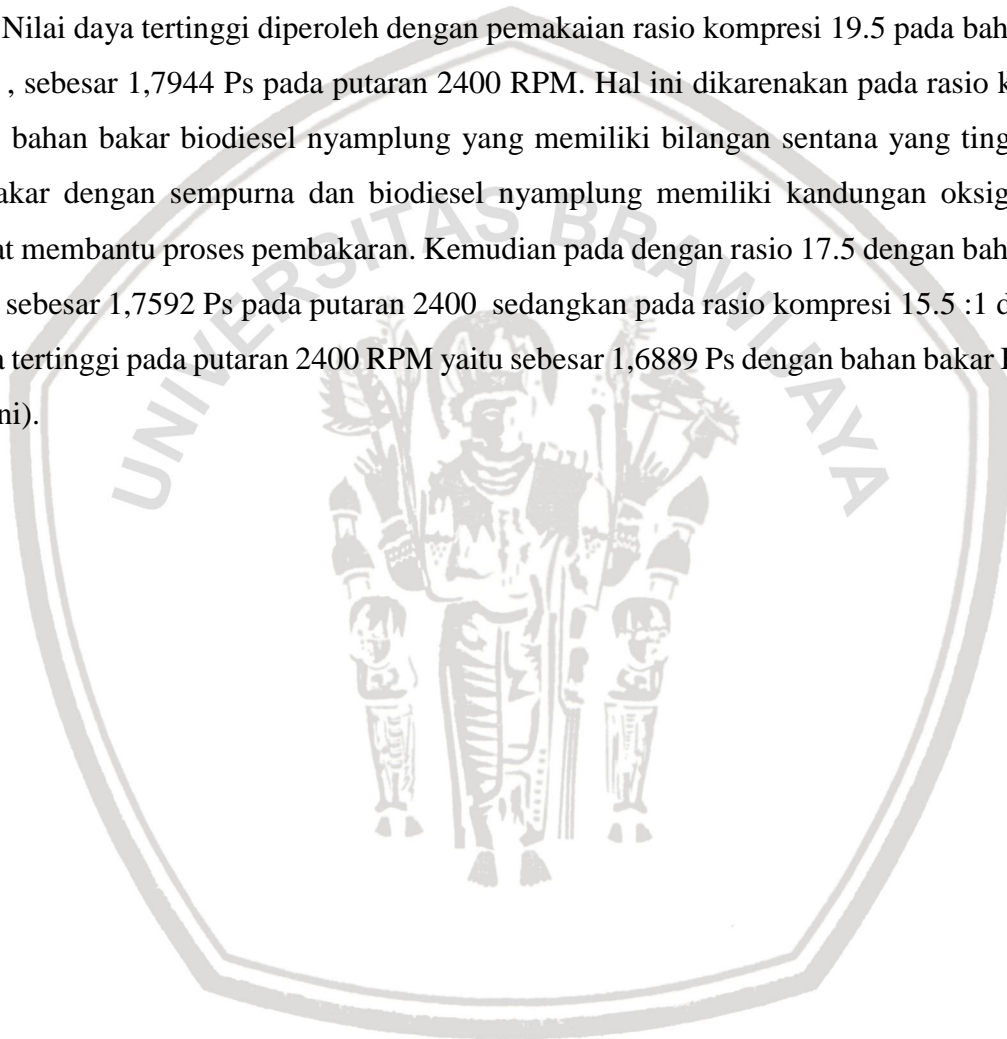
Dari gambar 4.4, 4.5, 4.6 diatas merupakan hubungan antara daya efektif dengan putaran mesin yang ditunjukkan bahwa grafik diatas menyerupai bentuk grafik torsi. Dengan bertambahnya nilai putaran poros, daya dihasilkan semakin naik. Hal ini karena daya efektif didapat dari hubungan harga torsi dan putaran yang berbanding lurus.

Peningkatan prosentase biodiesel nyamplung pada bahan bakar solar murni dengan rasio kompresi yang sama akan menyebabkan penurunan daya efektif dan meningkatnya rasio kompresi yang diikuti dengan peningkatan prosentase biodiesel nyamplung dapat meningkatkan daya efektif yang dihasilkan. Pada putaran motor yang rendah daya efektif yang dihasilkan juga turun hal ini disebabkan karena jumlah bahan bakar yang masuk dalam silinder sedikit, sehingga tekanan efektif yang terjadi pada proses pembakaran berlangsung sangat rendah yang menyebabkan daya efektif yang dihasilkan cenderung kecil sedangkan dengan seiring terbukanya *throttle* bahan bakar masuk dalam ruang silinder meningkat sehingga seiring bertambahnya putaran mesin diikuti dengan peningkatan daya efektif.

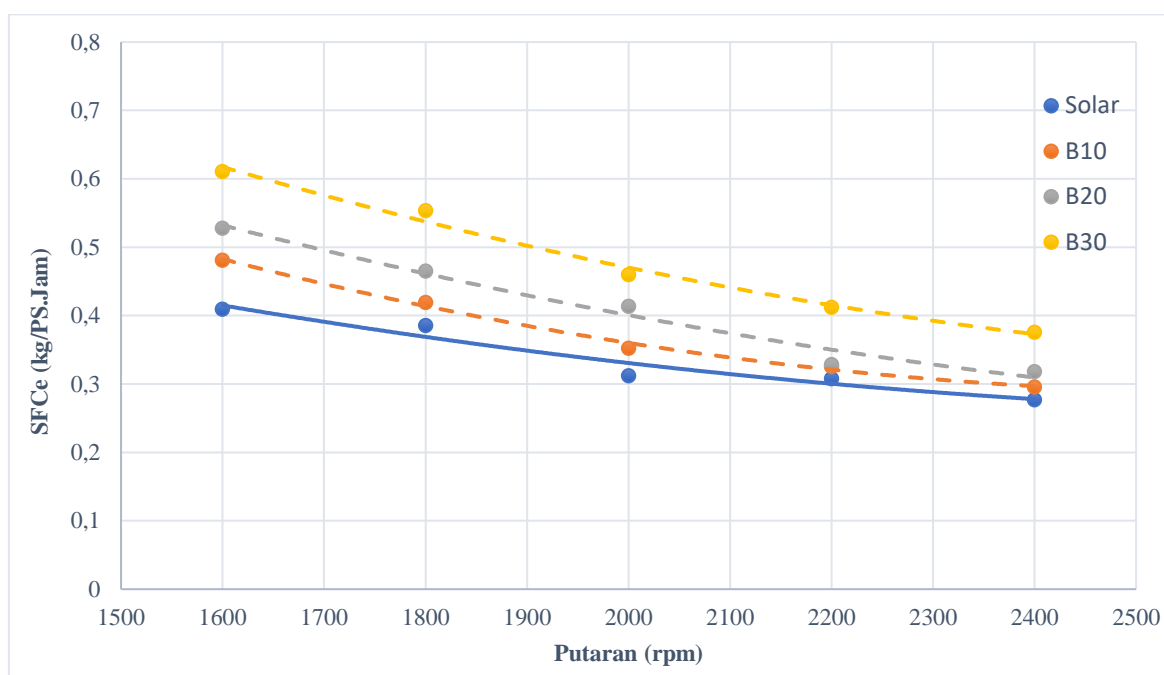
Bilangan setana yang dimiliki biodiesel nyamplung lebih tinggi dibandingkan dengan solar murni. Bilangan setana yang tinggi menunjukkan waktu yang lebih pendek antara injeksi bahan bakar dan pengapian (*ignition delay*) (Sahirman 2009), maka dari itu bilangan setana yang tinggi membutuhkan rasio kompresi yang tinggi untuk memaksimalkan pembakaran yang terjadi di ruang bakar dan untuk menyeimbangkan waktu yang lebih pendek antara injeksi bahan bakar dan pengapian. Pemakaian campuran B30 pada putaran rendah menunjukkan kenaikan daya yang lebih landai. Hal ini terkait semakin banyaknya

campuran minyak biji nyamplung pada solar murni akan menurunkan nilai kalor. Sedangkan tiap kenaikan rasio kompresi, rendahnya nilai kalor yang dimiliki terbantu oleh kesempurnaan proses pembakaran akibat kandungan oksigen yang terkandung didalam biodiesel nyamplung (Sahirman 2009). Dapat dilihat pada grafik rasio kompresi 15,1:1 bahan bakar campuran biodiesel nyamplung menghasilkan daya yang lebih rendah dibandingkan solar murni, tetapi pada grafik rasio kompresi 17,5:1 dan rasio kompresi 19,5:1 bahan bakar campuran biodiesel nyamplung dengan kandungan B10 dan B20 menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan solar.

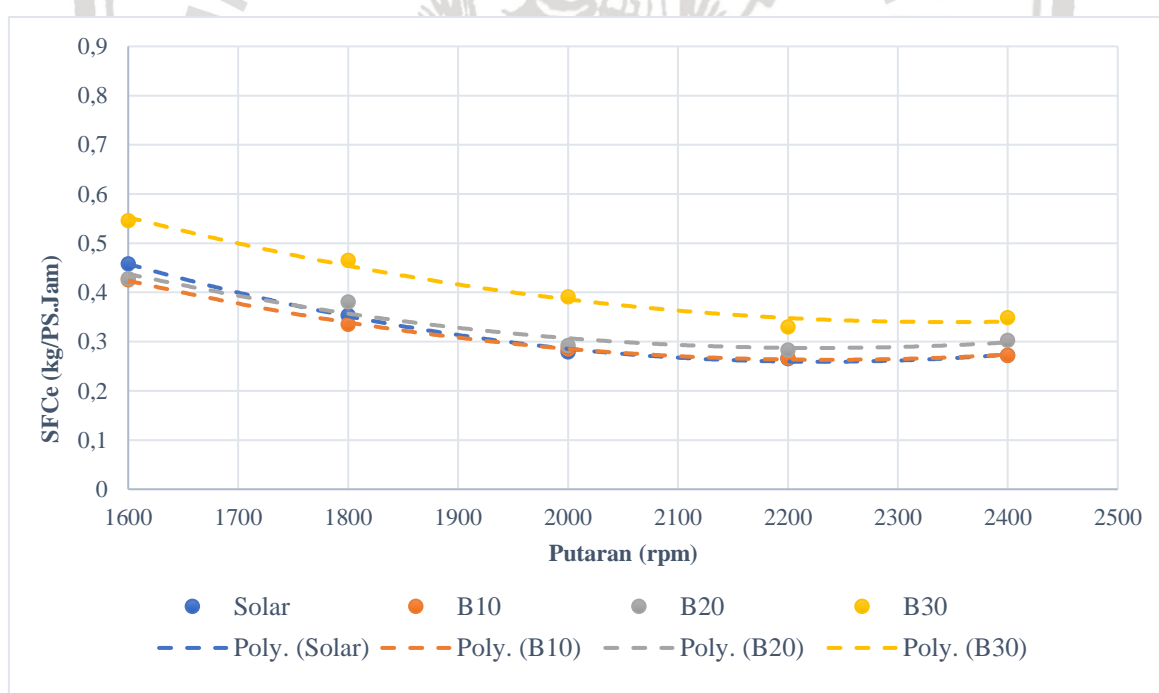
Nilai daya tertinggi diperoleh dengan pemakaian rasio kompresi 19.5 pada bahan bakar B20 , sebesar 1,7944 Ps pada putaran 2400 RPM. Hal ini dikarenakan pada rasio kompresi 19,5 bahan bakar biodiesel nyamplung yang memiliki bilangan sentana yang tinggi dapat terbakar dengan sempurna dan biodiesel nyamplung memiliki kandungan oksigen yang dapat membantu proses pembakaran. Kemudian pada dengan rasio 17.5 dengan bahan bakar B20 sebesar 1,7592 Ps pada putaran 2400 sedangkan pada rasio kompresi 15.5 :1 diperoleh daya tertinggi pada putaran 2400 RPM yaitu sebesar 1,6889 Ps dengan bahan bakar B0 (solar murni).



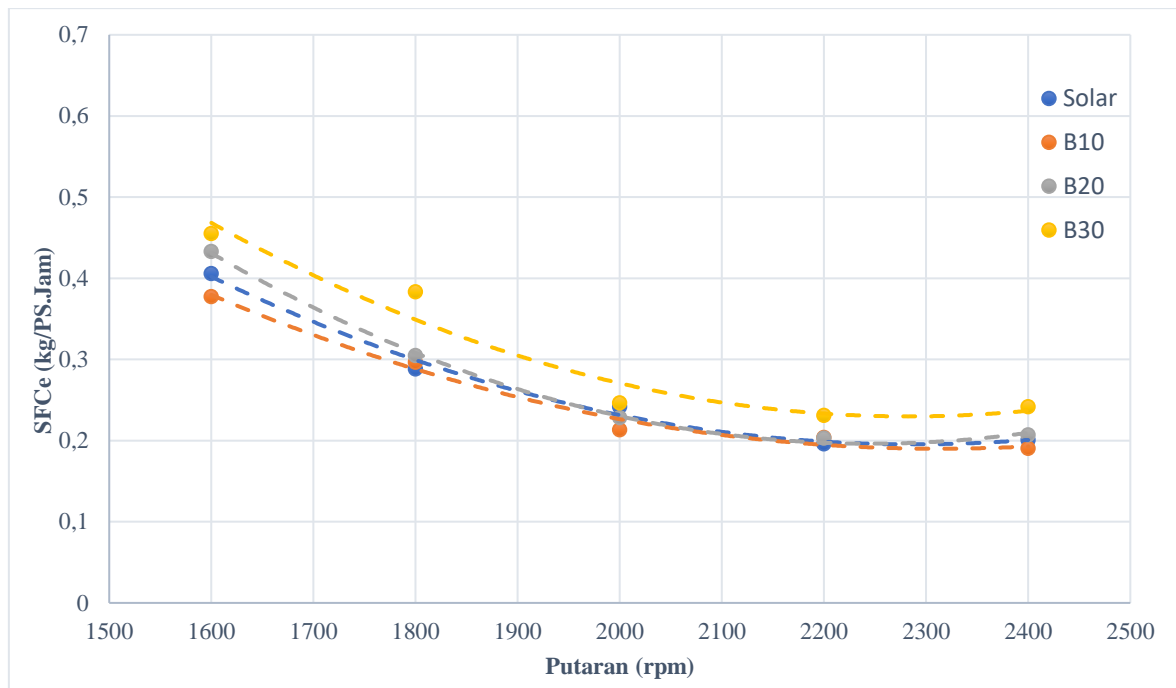
4.2.3 Grafik Hubungan Putaran Terhadap *Specific Fuel Consumption Effective*



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Putaran terhadap *Specific Fuel Consumption Effective* dengan Variasi Bahan Bakar Pada Rasio Kompresi 15.5.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Putaran terhadap *Specific Fuel Consumption Effective* dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 17.5



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Putaran Terhadap *Specific Fuel Consumption Effective* dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 19.5

Gambar 4.7, 4.8, 4.9 diatas menjelaskan hubungan putaran terhadap *specific fuel consumption effective* (SFCe). SFCe merupakan jumlah banyaknya bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan daya efektif dan semakin rendah nilainya maka semakin ekonomis. Dari grafik tersebut memiliki kecenderungan harga dari SFCe menurun sampai titik tertentu, kemudian naik. Dari hubungan SFCe yang berbanding lurus dengan *fuel consumption* akan tetapi berbanding terbalik dengan daya efektif dimana semakin besarnya daya dihasilkan nilai SFCe semakin kecil.

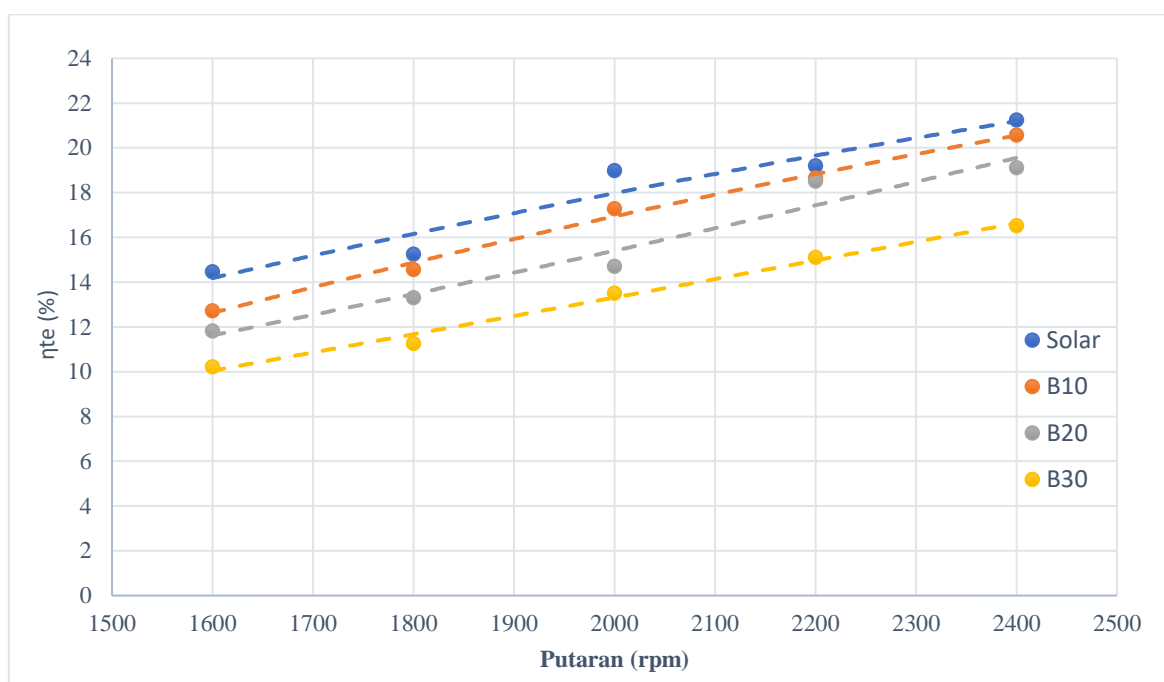
Nilai SFCe yang besar pada putaran awal disebabkan karena banyaknya kerugian panas yang hilang melalui dinding silinder. Semakin tingginya putaran maka konsumsi bahan bakar akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan hukum kelembaman dimana benda yang sudah bergerak dengan kecepatan tertentu, akan tetap bergerak dengan kecepatan itu jika tidak ada gangguan. Pada putaran tertentu konsumsi bahan bakar akan naik, dikarenakan pergerakan piston yang tadinya cenderung ingin bergerak dengan se-iring bertambahnya putaran pergerakan piston akan menurun dengan sendirinya maka untuk menyeimbangkan putaran motor konsumsi bahan bakar akan meningkat.

Sementara itu pada grafik setiap peningkatan rasio kompresi memberikan nilai SFCe berbeda-beda dari keempat bahan bakar. Untuk nilai SFCe pada masing masing rasio kompresi dengan perbandingan variasi bahan bakar diperoleh pada rasio kompresi 19.5 hasil terbaik sebesar 0,1904 kg/Ps.Jam pada putaran 2400 rpm dengan bahan bakar B10. Hal ini

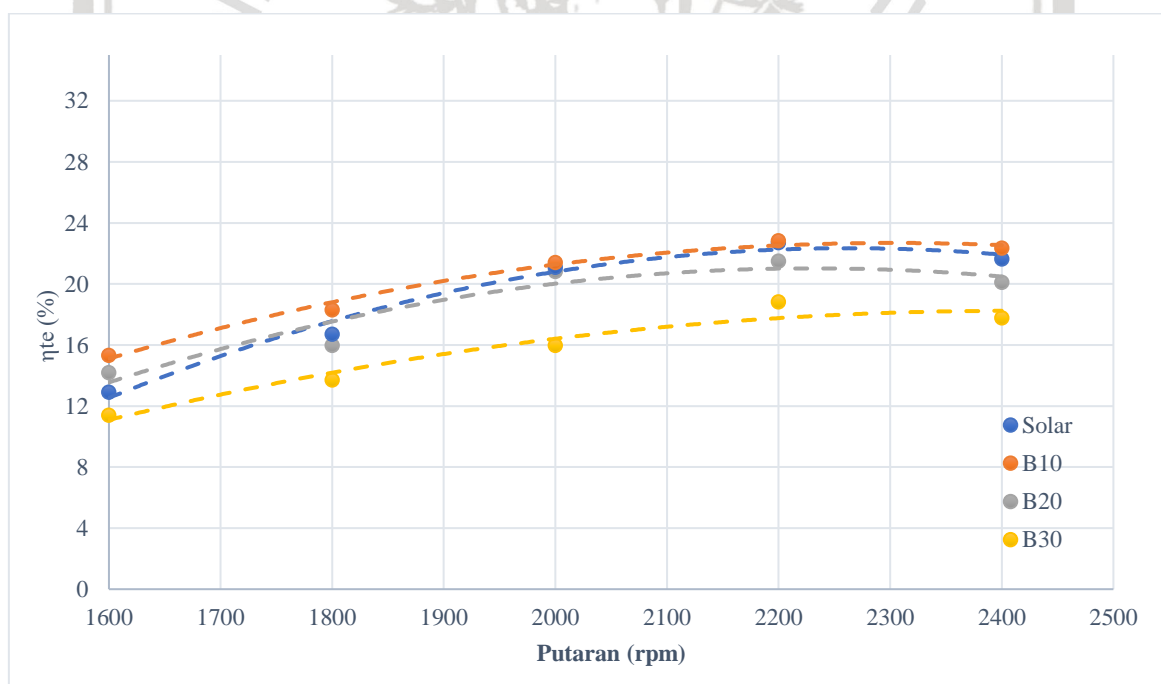
dikarenakan seiring peningkatan rasio kompresi tekanan dan temperatur yang dihasilkan semakin tinggi, sehingga bahan bakar biodiesel nyamplung dapat lebih mudah terbakar dan dapat meminimalisir bahan bakar yang tidak terbakar secara sempurna ketika proses pembakaran. Kemudian rasio kompresi 17,5 diperoleh hasil terbaik sebesar 0,2719 kg/PS pada bahan bakar B10 dengan putaran 2200 rpm, sedangkan pada rasio kompresi 15,5 :1 Pada bahan bakar B0 diperoleh hasil sebesar 0.2771 kg/PS.Jam pada putaran 2200 rpm.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa peningkatan rasio kompresi dapat memberikan SFCE lebih baik akan tetapi dengan penambahan campuran biodiesel nyamplung dengan rasio kompresi tetap menyebabkan SFCE meningkat dikarenakan semakin meningkatnya campuran biodiesel nyamplung daya efektif yang dihasilkan menurun. Selain itu penambahan biodiesel nyamplung ke dalam solar murni dapat meningkatkan bilangan setana yang dimiliki bahan bakar, sehingga bilangan setana yang tinggi membutuhkan rasio kompresi yang tinggi agar dapat mengoptimalkan pembakaran bahan bakar yang terjadi ketika proses pembakaran. Hal tersebut menunjukkan bahwa meningkatnya rasio kompresi berdampak peningkatan temperatur silinder yang menyebabkan bahan bakar lebih cepat terbakar dari gambar 4.7 sampai 4.9 diatas menjelaskan bahwa peningkatan rasio kompresi dengan penggunaan bahan bakar campuran biodiesel nyamplung yang tepat dapat menghasilkan daya efektif yang optimal sehingga nilai SFCE cenderung lebih rendah sedangkan pada bahan bakar B30 memiliki nilai SFCE tertinggi dikarenakan daya yang dihasilkan cenderung lebih rendah.

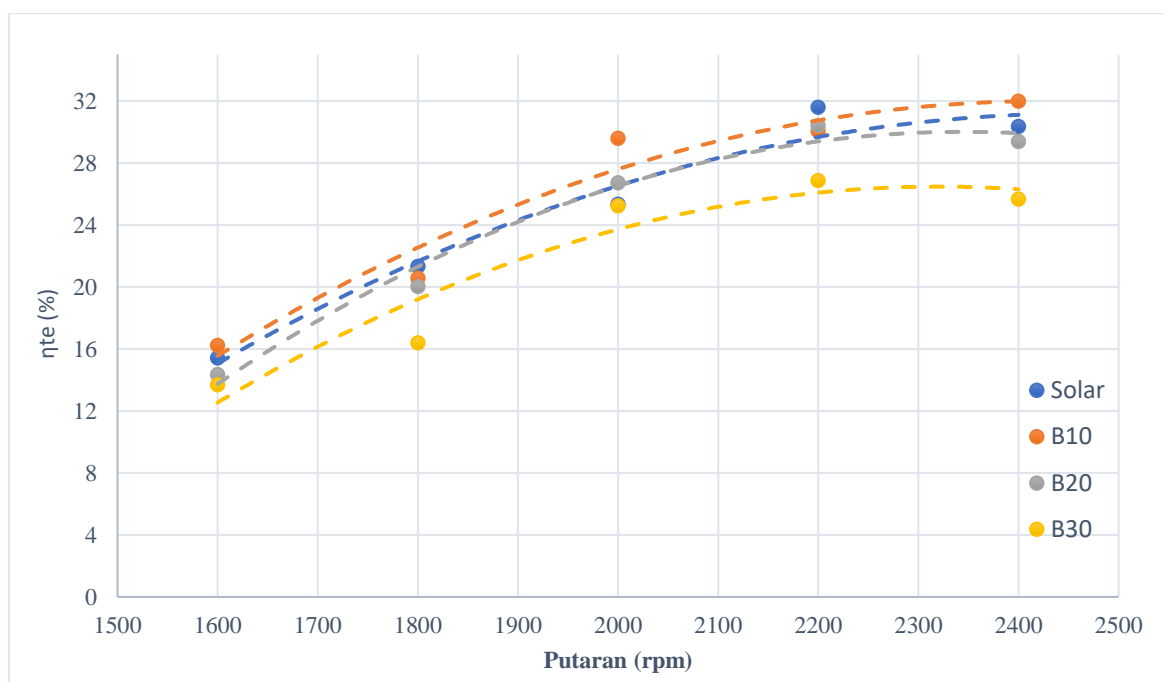
4.2.4 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Efisiensi Termal Efektif



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 15.5



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 17.5



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif dengan Variasi Bahan Bakar pada Rasio Kompresi 19.5

Gambar 4.10 sampai 4.12 merupakan grafik hubungan antara putaran dengan efisiensi termal efektif yang memiliki kecenderungan meningkat ketika putaran bertambah sampai titik optimum kemudian turun. Nilai dari efisiensi termal efektif cenderung meningkat disebabkan karena Efisiensi thermal efektif berbanding lurus dengan daya efektif dan berbanding terbalik dengan konsumsi bahan bakar. Nilai efisiensi thermal efektif cenderung meningkat disebabkan meningkatnya daya efektif yang dihasilkan.

Pada ketiga gambar tersebut menjelaskan bahwa pada bahan bakar campuran biodiesel nyamplung memiliki efisiensi thermal efektif yang tinggi dengan penggunaan bahan bakar B10 pada rasio 19,5:1. Hal ini dikarenakan biodiesel nyamplung memiliki bilangan setana yang lebih tinggi dari solar murni, dimana semakin tingginya angka setana maka membutuhkan rasio kompresi yang tinggi agar dapat mengoptimalkan pembakaran. Pada rasio kompresi 19,5 bahan bakar biodiesel nyamplung yang memiliki bilangan setana yang tinggi dapat terbakar dengan sempurna dan biodiesel nyamplung memiliki kandungan oksigen yang dapat membantu proses pembakaran. Begitu pula dengan B20 dan B30, semakin tingginya rasio kompresi maka efisiensi termal yang dihasilkan mendekati solar murni, sehingga dalam kasus ini B10 memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dari solar murni. Selanjutnya pada rasio kompresi 15.5, campuran bahan bakar B0, diperoleh hasil terbaik pada putaran 2400 rpm, yaitu 21.2461 %. Kemudian pada rasio kompresi 17.5 pada campuran bahan bakar campuran B10 volume diperoleh hasil terbaik pada putaran 2400 rpm,

yaitu 22.8324%. dan pada rasio kompresi 19.5 bahan bakar campuran B10 volume diperoleh hasil terbaik pada putaran 2400 rpm, yaitu 31.9956%.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa meningkatnya rasio kompresi dapat menaikkan daya efektif mesin yang menyebabkan efisiensi thermal efektif meningkat, tetapi dengan penambahan biodiesel nyamplung yang berlebih menyebabkan efisiensi termal menurun. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya biodiesel nyamplung menyebabkan nilai LHV tersebut turun dan juga viskositas bahan bakar campuran yang relatif lebih tinggi. Selain itu banyaknya campuran biodiesel nyamplung ke dalam solar murni akan menaikkan bilangan setana yang dimiliki bahan bakar, semakin tingginya bilangan setana dengan rasio kompresi tetap akan dapat menurunkan efisiensi termal pada mesin.

Berdasarkan keseluruhan grafik, dapat dilihat pada rasio kompresi 15,5 bahan bakar dengan campuran biodiesel nyamplung dan solar murni memiliki efisiensi termal yang lebih rendah dibandingkan solar murni. Pada rasio kompresi 17,5 dan 19,5 bahan bakar dengan campuran biodiesel nyamplung dan solar murni memiliki efisiensi termal yang dapat menyaingi solar murni, khususnya pada B10 dan B20. Hal ini disebabkan bahan bakar biodiesel nyamplung memiliki bilangan setana yang tinggi dibandingkan solar murni, dimana bilangan setana yang tinggi memerlukan rasio kompresi yang tinggi untuk mengoptimalkan pembakaran bahan bakar. Faktor lain yaitu karakteristik yang dimiliki biodiesel nyamplung seperti viskositas, dan *flash point* yang lebih tinggi dibandingkan solar murni, yang berakibat bahan bakar semakin sulit terbakar dengan rasio kompresi rendah.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Kinerja mesin diesel Yanmar L70N menggunakan bahan bakar biodiesel nyamplung didapatkan nilai torsi, daya, dan efisiensi termal dengan rasio kompresi 15,5:1 cenderung semakin menurun dengan penambahan biodiesel nyamplung ; Nilai torsi, daya, dan efisiensi termal dengan rasio kompresi 17,5:1 dan 19,5:1 dengan penambahan biodiesel nyamplung cenderung meningkat dan dapat menyaingi solar murni ; Nilai SFCe dengan rasio kompresi 15,5:1 cenderung semakin meningkat dengan penambahan biodiesel nyamplung ; Nilai SFCe dengan rasio kompresi 17,5:1 dan 19,5:1 dengan penambahan biodiesel nyamplung cenderung menurun dan dapat menyaingi solar murni.

Rasio kompresi terbaik yang didapatkan pada penelitian ini ialah campuran bahan bakar biodiesel nyamplung dengan solar murni menggunakan kadar 10% dan 20% dengan rasio kompresi 19,5:1 menghasilkan kinerja yang tidak berbeda jauh dengan solar murni.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh percampuran metanol dan kuantitas metanol pada proses pembuatan biodiesel nyamplung.
2. Perlu dilakukannya penelitian tentang pengaruh kinerja mesin diesel yang lainya seperti mesin diesel dalam penggunaan pabrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto & Tsuda Koichi. (1993). *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta: Pradya Paramita.
- Badan Pusat Statistik (2015). Pertumbuhan Populasi dan Kendaraan Bermotor.
- Basuki, Rahmat. (2014). Bagian – Bagian Motor Diesel. *Dasar-Dasar Motor Diesel*, hal 2.
- Bambang Prastyanto (2012). Pengaruh penambahan Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung (*C. Inophyllum*) pada Bahan Bakar Solar terhadap Hasil Uji Unjuk kerja mesin Diesel Generator Set.
- Bambang Sudarmanta (2014). Pengaruh Penambahan Biodiesel terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Motor Diesel pada Derajat Waktu Injeksi *Advanced*
- Bustomi, S., Tati, R.T., Sudradjat, R., Leksono, B., Kosasih, S., Anggraeni, I., Syamsuwida, D., Lisnawati, Y., Mile, Y., Djaenudin, D., Mahfudz, dan Rachman, E. (2008). Nyamplung (*calophyllum inophyllum* l.). Sumber energi *biofuel* yang potensial. Badan Litbang Kehutanan: Jakarta.
- Cengel, Yunus A. & Michael A. Boles, (2014). *Thermodynamics An Engineering Approach seventh edition*. New York: Mc Graw Hill Inc..
- Djoko Sungkono, (2011). Bahan Bakar Fossil Habis 30 Tahun Lagi
- Dweek, A.C. dan Meadows T. 2002. *Tanamu (Calophyllum inophyllum) the Africa, Asia Polynesia and Pasific Panacea. International J. Cos. Sci.* 24:1-8
- J.M Marchetti (2008). *Biodiesel Production Technologies*.
- Maledra Fordry Okta Yama (2017). Studi Eksperimen Penambahan Etanol Pada Solar Terhadap Kinerja Motor Diesel Yanmar Dengan Variasi Rasio Kompresi
- Modul Praktikum Motor Bakar Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya.
- Pertamina (2005). Bahan Bakar Solar: <https://www.pertamina.com/industrialfuel/id/products-services/fuel-product/>
- Rizal Alamsyah (2012). Pengolahan Biodiesel dari Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L*) dengan Cara Purifikasi Kering
- Sahirman (2009). Perancangan Proses produksi Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*)
- Sufriani, T (2006). Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Jarak Pagar (*Jatropha Curcas Oil*) dengan Proses Traserifikasi. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Sukoco, M.PD & Zainal Arifin, M.T (2008). Teknologi Motor Diesel

Tyson, K.S., (2004). *Energy Efficiency and Renewable Energy*. U.S. Department Of Energy.

Wardana. I.N.G. (2008). *Bahan Bakar & Teknologi Pembakaran* . Malang: PT. Danar Wijaya.

Yanmar Service Manual. (2016). *Yanmar Sevice Manual L40-L100 Air Cooled LA Series Industrial Diesel Engine*, hal. 30.

